



PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR GRAVEDAD PARA COMUNIDADES RURALES EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO.

**APLICACIÓN EN GUATEMALA.
ACTUACIONES EN CASOS DE EMERGENCIA.**

DEPARTAMENTO DE ING. TÉRMICA Y DE FLUÍDOS

AUTOR: DANIEL PONS STRIGARI

TUTOR: ULPIANO RUÍZ-RIVAS HERNANDO

TITULACIÓN: I.T.I: Mecánica

ABRIL 2006

AGRADECIMIENTOS:

A Dan Zitomer, a Lynn Roberts y a los trabajadores de Agua para la Salud, al equipo de P.A.V.A, a Matt, Gildas, Josh, Maud y Karine, a mis padres, a Grandmom y Grandpop, a Victoria y a María, a mis amigos y, por supuesto, a Ulpiano. Cada uno sabrá de qué manera ayudó a hacer este proyecto posible.

ÍNDICE.

0. INTRODUCCIÓN.....Pág.11

1. MARCO SOCIO-POLÍTICO-MEDIOAMBIENTAL.....Pág.14

1.1 SUBDESARROLLO EN EL MUNDO.

- 1.1.1. *Desigualdades socio-económicas globales.*
- 1.1.2. *Principales características de los países subdesarrollados.*
- 1.1.3. *Características concretas de Guatemala dentro de los países en vías de desarrollo: pobreza, analfabetismo y precariedad laboral.*

1.2 DESARROLLO Y COOPERACIÓN.

- 1.2.1. *Características básicas y metodología de desarrollo de proyectos de cooperación. Aplicación y adecuación.*
- 1.2.2. *Caso especial de proyectos de desarrollo: acciones de emergencia.*
- 1.2.3. *Carencias habituales en las acciones de emergencia.*
- 1.2.4. *Propuestas para una óptima labor de emergencia.*

1.3 SITUACIÓN MUNDIAL DEL ABASTECIMIENTO DEL AGUA.

- 1.3.1. *Situación actual de recursos hídricos.*
- 1.3.2. *Necesidades globales del agua y su explotación.*
 - 1.3.2.1. Consumo de agua. Estrés hídrico.
 - 1.3.2.2. Demanda de agua.
 - 1.3.2.3. Escasez de servicios sanitarios.
 - 1.3.2.4. Consecuencias de sobreexplotación y uso no sostenible de recursos hídricos.
- 1.3.3. *Marco político e institucional existente relacionado con el abastecimiento de agua potable.*
 - 1.3.3.1. Evolución de las políticas internacionales.
 - 1.3.3.2. Trayectoria cronológica.
 - 1.3.3.3. Improbabilidad de cumplimiento de objetivos planteados.

1.3.3.4. Estado económico- financiero del abastecimiento de agua.

1.3.4. *Panorama del agua en Guatemala. Situación actual.*

1.3.5. *Sistemas de abastecimiento de agua como herramienta de la cooperación y el desarrollo. Tipos. Sostenibilidad técnica, económico-social y medioambiental.*

1.3.5.1. Tecnologías para el abastecimiento de agua.

- sistema de punto único
- conexiones domiciliarias
- fuente pública de agua

1.3.5.2. Técnicas de captación de agua.

- captaciones superficiales
- captación de agua de lluvia
- embalses superficiales
- pozos superficiales o cavados a mano
- pozos perforados a máquina

1.3.5.3. Transporte y distribución.

Combustible fósil.
Bombeo manual.
Bomba de tracción animal.
Energía solar.
Energía eólica.

1.3.5.4. Sistemas empleados en Guatemala.

1.4. LABORES DE EMERGENCIA EN PROYECTOS EN COOPERACIÓN Y AYUDA AL DESARROLLO.

1.4.1. *La última emergencia: el huracán Stan. Impacto sobre sistemas de abastecimiento de agua en Guatemala. evaluación de daños.*

- a) Población y áreas afectadas
- b) Agua y Saneamiento

2. MARCO TEÓRICO.....Pág.43

2.1 INTRODUCCIÓN.

2.2 OBJETIVO.

2.3 PROBLEMAS FUNDAMENTALES.

2.4 CREACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR GRAVEDAD.

2.4.1 Evaluación de la aldea y estudio de viabilidad.

2.4.1.1. Estudio de la población.

2.4.1.2. Motivación.

2.4.1.3. Estudio de las fuentes de agua.

2.4.1.3.1. Principales tipos de fuentes.

- manantiales
- arroyos
- grandes corrientes y ríos

2.4.1.3.2. Cantidad de agua.

- contenedor y cronómetro
- recipiente abierto en "v"
- método de área-velocidad

2.4.1.4. Estudio de las necesidades de consumo doméstico diarias.

2.4.1.5. Calidad del agua.

- estudio de la presencia de NOx
- estudio de la presencia de microorganismos patógenos

2.4.1.6. Tratamiento de las aguas.

- filtrado lento por arena
- aireado

2.4.1.7. Legalidad de las fuentes.

2.4.1.8. Estudio topográfico.

- reconocimiento del terreno por medio de un teodolito
- reconocimiento del terreno por medio de un altímetro barométrico
- reconocimiento del terreno por medio de un nivel de Abney

2.5. TIPOS DE SISTEMAS.

2.5.1. *Sistemas abiertos.*

2.5.2. *Sistemas cerrados.*

2.5.3. *Subdivisiones de sistemas.*

2.5.3.1. Sistema abierto sin grifos de cierre.

2.5.3.2. Sistema abierto con grifos de cierre.

- 2.5.3.3. Sistema cerrado con depósito de reserva.
- 2.5.3.4. Sistema cerrado con servicio intermitente.
- 2.5.3.5. Sistema cerrado con válvulas de flotador.

2.6 TEORÍA HIDRÁULICA.

2.6.1. Energía.

2.6.2. Hidrostática.

- Carga hidrostática

2.6.3. Hidrodinámica.

- Línea Piezométrica

2.6.4. Ecuación de continuidad y teorema de Bernoulli.

2.6.4.1. Ecuación de Continuidad.

2.6.4.2. Teorema de Bernoulli.

2.6.4.2.1. Ecuación de Bernoulli para el caso ideal.

- interpretación gráfica
- pérdidas de carga

2.6.4.2.2. Ecuación de Bernoulli para el caso real.

2.6.5. Perfil hidráulico.

2.6.6. Factores de pérdida de carga por fricción.

2.6.6.1. Rugosidad absoluta y relativa de las tuberías.

- Reseña teórica.

2.6.6.2. Fórmulas experimentales para el coeficiente de fricción.

2.6.6.2.1. Fórmula de transición de Colebrook para tuberías comerciales.

2.6.6.2.2. Diagrama de Moody para tuberías comerciales. Carga continuas.

2.6.6.3. Fórmulas prácticas para el cálculo de las pérdidas de carga continuas.

- Estudio comparativo entre las dos maneras de obtención de las pérdidas de carga

2.6.7. Pérdidas locales.

2.6.8. Carga residual.

2.6.9. *Válvulas: elementos de fricción variables.*

- Válvulas de compuerta
- Válvulas de globo

2.7. LÍMITES DE PRESIÓN.

2.7.1. *Límites de presión máximos.*

- PVC 160 psi
- PVC 250 psi
- Hierro Galvanizado, HG

2.7.2. *Límite de presión mínima.*

2.8. LÍMITE DE VELOCIDADES.

2.9 BLOQUEOS DE AIRE.

2.9.1. *Válvulas de purga.*

2.9.2. *Vías alternativas.*

2.9.3. *Formación de bloqueos de aire.*

2.9.4. *Procedimiento de análisis.*

2.9.5. *Estrategias para minimizar bloqueos de aire.*

2.10. DESAGÜES DE LIMPIEZA.

2.11. DISEÑO DE TUBERÍAS.

2.11.1. *Combinación de distintos tamaños de tubería.*

2.11.2. *Puntos de unión.*

2.12. ELEMENTOS DESTACABLES EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR GRAVEDAD.

2.12.1 *tanques de rompe-presión.*

2.12.2. *Tanques de distribución.*

2.12.3 *cajas de válvulas.*

2.13. DIFICULTADES DEL TERRENO.

2.13.1. *Deslaves o corrimientos de tierra.*

2.13.2. *Torrenteras.*

- 2.13.3. *Arroyos.*
- 2.13.4. *Consideraciones importantes.*
- 2.13.5. *Puentes en suspensión.*

2.14. PURIFICACIÓN DE AGUA.

- 2.14.1. *Hervido.*
- 2.14.2. *Radiación de luz ultravioleta.*
- 2.14.3. *Cloración.*
- 2.14.4. *Desinfección de tanques y tuberías.*
 - 2.14.4.1. *Tanques nuevos.*
 - 2.14.4.2. *Nuevas tuberías y conductos maestros.*
- 2.14.5. *Desinfección en situaciones de emergencia.*

2.15. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN SITUACIONES DE

- 2.15.1. *Introducción. Emergencia y desastres naturales. Dotación de agua y saneamiento ambiental.*
- 2.15.2. *Objetivo general.*
- 2.15.3. *Supuestos de planificación.*
- 2.15.4. *Objetivos específicos.*
 - *Antes del evento.*
 - *Medidas en las primeras 72 horas.*
 - *Durante y después de las primeras 72 horas.*
- 2.15.5. *Estrategias.*
- 2.15.6. *Personal.*
- 2.15.7. *Suministros, equipos y otros recursos requeridos.*

3. MARCO PRÁCTICO.....Pág.111

3.1. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR GRAVEDAD EQUIPOS Y SISTEMAS INVOLUCRADOS.

- 3.1.1. *Fuentes de agua.*

3.1.2. *Distribución de agua.*

3.1.3. *Conducción. Obstáculos.*

3.1.4. *Componentes del sistema.*

3.1.5. *Tratamiento de agua.*

3.1.6. *Saneamiento de agua.*

3.2. DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR GRAVEDAD: CANTÓN Q'ALCHÉ.

3.2.1. *Introducción.*

3.2.1.1. Agua para la Salud.

3.2.1.2. Situación actual y características de Q'alché.

- Emplazamiento
- Clima
- Geología
- Historia
- Población
- Agricultura
- Condición del agua
 - calidad del agua
 - cantidad de agua
- Sistema sanitario
- Salud e higiene

3.2.2. *Desarrollo del proyecto.*

3.2.2.1. Trámites preliminares.

- Planteamiento del problema
- Comité de agua. Gerencia, operaciones y mantenimiento del sistema de distribución de agua

3.2.2.2. Equipos y sistemas involucrados.

3.2.2.3. Estudio de la viabilidad técnica.

- Estudio de fuentes de agua.
 - flujo de agua
 - calidad del agua de la fuente

3.2.2.3.2. Estudio topográfico.

3.2.2.3.3. Estudio hidráulico.

3.2.2.3.4. Diseños y esquemas.

- detalle de tramo nacimiento - tanque de distribución
- tanque de distribución de 5m³, con dos entradas y tres salidas.
- caja de válvulas para el tanque de distribución.
- ramal principal, de tanque de distribución a te de

- bifurcación “ramal 1a-ramal 1-b”.
- ramal 1a.
- ramal 1b y ramal b.
- ramal G2.
- caja de rompe-presión de 1m³.
- conexión domiciliar.
- ramal G3 y M2.
- esquema de piso de hormigón para pila.

- 3.2.2.4. Estudio de la viabilidad económica. Lista de materiales. Financiación.
- 3.2.2.5. Promoción de salud.
- 3.2.2.6. Reunión con la aldea.
- 3.2.2.7. Presentación de informe de petición.

3.3. RECONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS Y EQUIPOS TRAS LA EMERGENCIA.

3.3.1. Introducción.

3.3.2. Alcance de los trabajos.

3.3.3. Experiencia detallada.

- 3.3.3.1. Tramos de tubería entre pilares hormigón.
- 3.3.3.2. Tramos de tubería enterrados en zanjas.
- 3.3.3.3. Llaves de compuerta.
- 3.3.3.4. Cajas de captación.
- 3.3.3.5. Cajas de reunión.
- 3.3.3.6. Puentes colgantes.

3.3.4. Revisión crítica.

3.3.4.1. Operaciones de corto/largo plazo.

- 3.3.4.1.1. Sustitución de PVC por HG.
- 3.3.4.1.2. Combinación de sustitución de PVC por HG y enterramiento de PVC.
- 3.3.4.1.3. Construcción de un puente colgante.
- 3.3.4.1.4. Refuerzo de pared con muro de contención.

3.3.5. Casos especiales.

- 3.3.5.1. Nuevo nacimiento.
- 3.3.5.2. Superación de barranco.
 - Alternativa 1. Puente colgante.
 - Alternativa 2. Rodeo de barranco.

4. CONCLUSIONES.....Pág.183

BIBLIOGRAFÍA.....Pág.185

APÉNDICES.....Pág188

APÉNDICE 1: MAPA DE GUATEMALA.

APÉNDICE 2: TABLAS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN DISTINTAS
TUBERÍAS.

APÉNDICE 3: NOMOGRAMA DE CAUDALES PARA PLÁSTICOS Y HG.

APÉNDICE 4: TABLAS PARA LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE DARCY
Y PÉRDIDAS DE CARGA DEDUCIDAS A PARTIR DE ÉSTA.

APÉNDICE 5: BOCETOS DE MODELOS DE PUENTE DE UN ALBAÑIL
GUATEMALTECO QUE SE USARON DE GUÍA EN LAS
LABORES DE EMERGENCIA.

APÉNDICE 6: DIVERSOS TIPOS DE ANCLAJES DE PUENTES.

APÉNDICE 7: TABLAS DE ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

APÉNDICE 8: TABLAS DE ESTUDIO HIDRÁULICO.

APÉNDICE 9: LISTA COMPLETA DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE
Q'ALCHÉ.

0. INTRODUCCIÓN.

A la hora de decidir genéricamente sobre el marco en el que encuadraría mi PFC, me decanté en primera instancia por un trabajo de campo, algo práctico sobre lo que se pudiera aplicar directamente el aprendizaje que había adquirido durante la carrera. Precizando un poco más, decidí que mi esfuerzo debía destinarse a un lugar donde pudiese existir mayor necesidad y donde se valoraría muy positivamente la tarea realizada. Así pues, finalmente opté por actuar de voluntario en una ONG operante en un país en vías de desarrollo, trabajando en un tema con la posibilidad de ser abordado directamente por un ingeniero de mi especialidad. Así pues, el tema sobre el que finalmente decidí centrarme fue sobre el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua por gravedad en zonas rurales de un país subdesarrollado, en concreto, de Guatemala. Una vez en el lugar desempeñando esta labor, la envergadura de mi trabajo se desbordó inesperadamente al coincidir mi estancia con la llegada del huracán Stan. Las labores que desempeñé a partir de este momento fueron de emergencia y reconstrucción de los sistemas ya existentes que se habían visto afectados.

A medida que se iban desarrollando los acontecimientos mientras yo estaba en Guatemala, mi idea comenzó a adoptar una forma más concreta. Estaba trabajando en la elaboración de un PFC pero me di cuenta de que mi labor podría alcanzar a tener más utilidades, en concreto, que mi PFC fuese empleado como un manual específico acerca de temas hidráulicos emprendidos en la zona. Consecuentemente, el enfoque que se le da al PFC está pensado para poder servir tanto a futuros voluntarios internacionales que quizás busquen completar su base de conocimientos de hidráulica aplicados, como sería el caso en el que yo me encontraba, como, y mucho más importante, a los trabajadores locales. La organización para la que trabajé estaba reorganizándose y poco a poco quería limitar el número de trabajadores/voluntarios internacionales y emplear casi exclusivamente a trabajadores guatemaltecos. Así pues, los trabajadores locales a los que iría dirigido mi proyecto serían a los ingenieros hidráulicos y albañiles que formasen parte del equipo de trabajo. Por esta razón, como las condiciones educativas en Guatemala, a nivel general, son nefastas, personal menos cualificado puede necesitar más extensas explicaciones; para algunas partes básicas se emplea más tiempo y esfuerzo en explicar que si solamente fuese un PFC. Por este motivo, en ocasiones la información que se incluye en el

proyecto intenta ser lo más divulgativa posible, bien para que dichos futuros empleados guatemaltecos puedan entenderla mejor o bien para que alguien con mayor formación pueda emplearlo de guía para poder explicar a los demás lo necesario para formarse en el tema. En Guatemala, la experiencia fue primordialmente de carácter práctico. Una vez regresado a España, me dediqué básicamente a recopilar toda la información para poder darle forma al proyecto y a comenzar a respaldar la experiencia práctica, los cálculos realizados in situ, las consideraciones que se hacían y, en general lo aprendido, con una base teórica.

El proyecto que presento está estructurado en tres grandes bloques: el marco socio-político-medioambiental, el marco teórico y el marco práctico.

El primero de ellos desempeña primordialmente una función introductoria y de contextualización de todo el proyecto. En él se introduce el concepto de desigualdad y subdesarrollo en el mundo, incluyendo justificadamente a Guatemala en ese marco. Por otra parte, refleja el papel de la cooperación internacional y de ayuda al desarrollo y su labor en dichos países, con especial hincapié en una acción concreta: las labores de emergencia ocasionadas por catástrofes naturales. Al final de esta primera sección, se incluye la última emergencia en Guatemala: la del huracán Stan. Nos centramos después en las necesidades de agua mundiales, en especial de los Países en Vías de Desarrollo (PVD) (marco político y económico-financiero) y, en concreto, de la situación actual del agua en Guatemala. En un ámbito más técnico, planteamos los distintos métodos de obtención y distribución de agua, concluyendo que la opción más viable para el entorno en el que yo trabajaré son los sistemas de abastecimiento de agua por gravedad.

En el siguiente bloque, el marco teórico, se profundiza en los fundamentos teóricos, características, diseño, instalación y funcionamiento del sistema que indicamos más viable para aplicar en las regiones rurales del altiplano de Guatemala: el sistema de abastecimiento de agua por gravedad. Se tratan todos los apartados teóricos desde un punto de vista general de tal manera que puedan ser aplicables a cualquier sistema de este tipo, en especial a cualquier población rural de un PVD. En este apartado, se han empleado varios libros de teoría que me han servido tanto de guía de trabajo, como para completar la base teórica y contrastar las metodologías seguidas in situ. En la última sección, se incluyen unas pautas generales a seguir en el caso de una emergencia o catástrofe natural. Son las pautas presentadas por la Organización Panamericana de la salud, oficina regional de La Organización Mundial de la salud.

Por último, en el marco práctico se plasma en un proyecto concreto de suministro de agua a una aldea la aplicación práctica de los conceptos teóricos tratados en el bloque anterior. Se incluye el proceso completo de implementación de un sistema de distribución de agua por gravedad en la aldea guatemalteca de Q'alché. También, como segunda parte de esta sección, se incluye el trabajo ingenieril que desempeñé durante las labores de emergencia, que consistía básicamente en la reconstrucción y el rediseño de los sistemas dañados. Se incluye un alcance de los trabajos realizados, un planteamiento genérico de los problemas existentes con ejemplos que los

ilustran, las soluciones de corto plazo adoptadas para solucionar la emergencia y las posibles medidas de medio y largo plazo necesarias para asegurar la perdurabilidad y sostenibilidad en el futuro del sistema afectado.

La razón de esta estructura es que primeramente se intenta transmitir en qué tipo de lugares y por qué razones puede un proyecto de este tipo tener tanta utilidad y aportar tanto a la mejora directa e inmediata de las condiciones de vida de comunidades enteras que carecen de las necesidades más básicas. Por eso se habla de las desigualdades en el mundo, afirmando que Guatemala es un PVD y, fruto de estas necesidades, se desprende de manera directa la existencia y el papel de la cooperación internacional y de ayuda al desarrollo y su labor en dichos países. Con lo cual, en este sentido, mi trabajo se ve justificado. Así se prepara el terreno para incluir el marco teórico, que será el fundamento sobre el que se base el marco práctico, una aplicación directa de lo explicado además de un ejemplo muy visual.

1. MARCO SOCIO-POLÍTICO-MEDIOAMBIENTAL.

1.1 SUBDESARROLLO EN EL MUNDO.

1.1.1. DESIGUALDADES SOCIO-ECONÓMICAS GLOBALES.

Hoy en día, existen desigualdades socio-económicas extremadamente marcadas en el mundo. Más de mil millones de personas viven en situación de extrema pobreza, con lo que esta situación puede considerarse como problema primordial que sufre el planeta a día de hoy. Esta situación de extrema pobreza es la principal causante de que muchos países vivan sumidos en el subdesarrollo. Por lo tanto, su eliminación debería ser el objetivo prioritario de los gobernantes mundiales, como así han admitido en distintos foros internacionales.

El subdesarrollo, definido por José Luis Sampedro se expresa como:

“Una situación de pobreza marginada y permanente, segregada por el desarrollo, en que vive la mayor parte de la Humanidad, sin perspectivas de evolución espontánea favorable mientras persista su subordinación dentro del sistema”

1.1.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS PAÍSES SUBDESARROLLADOS.

Se pueden caracterizar las condiciones de los países subdesarrollados en los siguientes puntos:

- Pobreza de ingresos generalizada. (20% de la población mundial sobrevive con ingresos inferiores a 1\$ diario).
- Sistema de salud deficiente.
- Sistema educativo deficiente.
- Deficiente cobertura de necesidades básicas. (Alimentación, agua, saneamiento, energía).

- Desequilibrio entre población y recursos.
- Desequilibrio entre los sectores productivos. (Preponderancia del sector primario).
- Comercialización deficiente. (Problemas estructurales de los mercados internos y externos).
- Escasez de capital para acometer inversiones necesarias. Dependencia económica respecto del exterior.
- Desequilibrios monetarios. (Sistemas fiscales deficientes, endeudamiento externo, etc.).
- Desigualdades sociales muy acentuadas.
- Inestabilidades políticas.

El proceso de globalización actual aumenta en numerosas ocasiones las diferencias entre primer y tercer mundo, haciendo perdurar el subdesarrollo de muchos países.

El comercio mundial creció el 50 % durante los últimos seis años y ahora supone más de 17.000 millones de dólares diarios. Paralelamente, el precio de productos primarios distintos del petróleo (alimentos básicos y materias primas producidos por el tercer mundo) cayó en más del 50 % en términos reales durante los últimos 20 años. La deuda externa total de los países en desarrollo creció de 90.000 millones de dólares en 1970 hasta casi dos billones de dólares en 1998. De los 6.000 millones de habitantes del mundo, 2.800 millones viven con menos de dos dólares al día y 1.200 millones con menos de un dólar. Hasta 35.000 niños de menos de cinco años mueren cada día por enfermedades evitables (esto supone 24 niños por minuto). La distancia del 20 % más rico del mundo respecto al 20 % más pobre se ha duplicado en los últimos cuarenta años. De las 100 entidades económicas más grandes del mundo, 51 son empresas. Por otro lado, el patrimonio de las tres personas más ricas del mundo excede al PIB de los 48 países más pobres (que suman una población de 600 millones).

1.1.3. CARACTERÍSTICAS CONCRETAS DE GUATEMALA DENTRO DE LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO: POBREZA, ANALFABETISMO Y PRECARIEDAD LABORAL.

Debemos partir de la identificación de algunos caracteres que definen a la sociedad guatemalteca para sí poder extraer aquellos que expliquen las inadecuaciones sociales.

Con sus más de 11 millones de habitantes, más del 60% indígenas, Guatemala compite en pleno siglo XXI en el récord de países más pobres del mundo. De hecho, es el segundo más pobre en Iberoamérica.

En su historia reciente, en 1996, los Acuerdos de Paz entre la Guerrilla y el Gobierno dieron fin a un conflicto armado de más de 36 años de duración y

cuyo origen radicó precisamente en la histórica desigualdad y opresión sufrida por esa mayoría de habitantes guatemaltecos.

Es un país mayoritariamente rural (más de tres cuartas partes de la población), con una tremenda disfunción en el reparto de la tierra (un 2% por ciento de los propietarios concentran el 65% del suelo) y, según estadísticas de UNICEF, con un 62% de la población rural que vive en condiciones de extrema pobreza. Junto a esas abismales diferencias, en los últimos años han crecido los niveles de pobreza por razones estructurales, como son:

- Alza de los productos básicos.
- Injusta distribución de la renta nacional.
- Altas tasas de paro.
- Analfabetismo, que afecta a más de la tercera parte de la población.
- Crecimiento de la pobreza a un ritmo del 3% anual.
- Educación deficiente, más en el campo que a las urbes y nefasto según etnias y sexos (desfavorece más a mayas que a ladinos y a mujeres que a varones). Hay una relación entre pobreza, indigenismo y analfabetismo.
- Carencia de cobertura de necesidades básicas a tres cuartas partes de la población.

Los pobres rurales se dedican al jornaleo agrario, y en las ciudades los pobres urbanos al comercio. Pero, en cualquier caso, la colaboración infantil se considera esencial. Los hijos son fuerza de trabajo necesaria y el sistema educativo no es ni realmente obligatorio ni gratuito. La conclusión es que ni los hijos rinden ni se invierte en formación para el futuro. La espiral del subdesarrollo no es que se haya creado hoy, es que es la misma de siempre, la heredada, pero hoy agudizada. La carencia de cualificación laboral y la falta de dedicación a una tarea fija impiden que se adquieran las destrezas y habilidades necesarias y básicas para el desempeño útil y rentable de la misma. No hay cualificación porque no ha habido formación, y ésta no ha existido porque los activos subempleados han sido hijos utilizados por sus padres, que fueron utilizados por sus abuelos. El trabajo es considerado más urgente que la educación.

En lo que afecta al emplazamiento de centros de formación técnica oficial, los desequilibrios territoriales son aún más agudos. Más del 90 por ciento de los alumnos pertenecen a áreas urbanas, como acontece con otro tercio de los institutos de extensión y mejoramiento de la educación media. Además, un escaso porcentaje de población estudiantil continúa sus estudios hasta el ciclo diversificado (educación secundaria).

Así pues, el sistema educativo se caracteriza por necesidades continuadas de inversiones debido tanto a carencias arrastradas como al desorbitado crecimiento demográfico. Lo más urgente es cubrir la escasez de

maestros e incluso solventar el problema de la escolarización parcial (un maestro atiende al mismo tiempo a dos escuelas distantes, reduciendo los períodos lectivos a la mitad del tiempo requerido). Las deficiencias más claras se cuantifican del siguiente modo:

- El nivel primario presenta altos índices de deserción y repetición, de tal modo que en las áreas rurales sólo el 15 por ciento de los alumnos terminan el ciclo y en las urbanas el doble.
- Los gastos estatales se concentran en aumentos salariales, mientras que la cobertura requerida queda desatendida.

Aún hay más implicaciones sociales de las carencias formativas. Como consecuencia de la situación social empobrecida, surgen elementos como alcoholismo, robo, delincuencia, abandono del hogar, violaciones, etc. Un solo dato es buen indicativo del atraso cultural: se prefiere ocultar la violación femenina antes que mancillar la reputación de la mujer afectada.

Está pues justificada la razón por la que dicho país se incluya en la categoría de “país subdesarrollado”. Queda patente que pueda ser objeto de proyectos de cooperación y ayudas al desarrollo.

1.2 DESARROLLO Y COOPERACIÓN.

La idea de la cooperación y la ayuda al desarrollo es intentar favorecer en la medida de lo posible al país en condición de subdesarrollo. Por ejemplo, a través de muchas experiencias y trabajos se ha comprobado que las mejores soluciones en el campo de suministro de agua y saneamiento en zonas rurales han sido las implementadas por comités de usuarios apoyados por ONGs o instituciones de esta naturaleza. Normalmente dicha ayuda proviene de organismos internacionales pero éstos deben ser un complemento de las actividades estatales y no un sustituto de las mismas. Son los gobiernos quienes realmente tienen el poder de cambiar estructuras vigentes no eficientes. Sin embargo y mientras esto se consigue, la ayuda de cooperación y desarrollo resulta valiosísima.

A continuación se incluye una lista de los objetivos que se deben cumplir en el desarrollo humano y sostenible:

- **Satisfacer las necesidades humanas básicas.** Se sitúa a la persona como principal protagonista del desarrollo y se establecen unos mínimos para el disfrute de una vida digna.
- **Lograr un crecimiento económico constante.** El crecimiento económico también es necesario en el proceso de desarrollo pero sin ser condición suficiente. Se persigue que la economía genere bienes y servicios suficientes para satisfacer a una población creciente. Junto al crecimiento económico está

la mejora de la capacidad productiva, como consecuencia de una mejor capacitación de los recursos humanos y de una mejora tecnológica.

- **Mejorar la distribución social.** Se percibe como consecución de un acceso equitativo a los recursos naturales y al beneficio del crecimiento, en términos de mejor distribución de la renta y de los beneficios sociales.

- **Atender a los aspectos demográficos.** En especial, se busca reducir las altas tasas de crecimiento poblacional a uno que permita aumentar la disponibilidad de recursos y su aprovechamiento por todos, de forma que se evite la concentración poblacional. Junto a ellos, se busca también controlar los flujos migratorios fomentando la distribución de las zonas de crecimiento potencial.

- **Seleccionar opciones tecnológicas apropiadas.** Se deberá estimular la investigación y la capacidad técnica para lograr tecnologías sustitutivas adecuadas a cada situación, mejorar los procesos tradicionales y adaptar la tecnología importada a las necesidades y cultura locales, siempre con el entendimiento y la voluntad de la comunidad. Se deben exponer claramente las alternativas viables y sus ventajas y beneficios.

- **Aprovechar, conservar y restaurar los recursos naturales.** Se debe evitar la degradación de los recursos, proteger la capacidad límite de la naturaleza, favorecer la restauración y evitar los efectos adversos sobre la calidad del aire, agua y tierra, con el fin de perpetuar la oferta ambiental de los ecosistemas.

- **Fomentar la igualdad entre hombres y mujeres.** Se debe promover la eliminación de todo tipo de desigualdades entre los géneros, de modo que la mujer pueda aspirar a una vida digna, en particular, fomentando la igualdad de posibilidades en temas educativos.

- **Apostar por la educación universal.** La educación es el motor del desarrollo y la persona es el principal valor que tiene una sociedad. Apostar por una educación universal significa poner las bases para un desarrollo futuro con garantías de éxito.

1.2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS Y METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE COOPERACIÓN. APLICACIÓN Y ADECUACIÓN.

El desarrollo de dichos proyectos de cooperación sigue unas determinadas pautas y procedimientos. En primer lugar, en los proyectos de cooperación es muy importante que exista una comunicación fluida entre las organizaciones participantes (por ejemplo, ONGs) y los representantes locales del área donde se trabaja. Las organizaciones participantes deben actuar no sólo indicando lo que pueda ser necesario o aportando información, sino también intentando recibir opiniones o ideas sobre el proyecto. Se debe contemplar entrevistarse con todos los grupos que forman la comunidad, separadamente si fuese necesario, como por ejemplo con los grupos de mujeres ya que, en ocasiones, no hablarán libremente más que en ausencia de

hombres. Si no, puede ocurrir que se realicen proyectos a los que ellas mismas se opongan desde el principio, aunque no lo exterioricen. Esto llevaría al fracaso del programa, que podría haber sido evitado de haberse tenido en cuenta la opinión de este colectivo.

Hay una idea que se debe dejar clara a la comunidad. El proyecto va a ser suyo. Es decir, que no es algo que se les está imponiendo o instalando, sino que ellos mismos son los responsables de su permanencia futura. El sistema montado se vendrá abajo si no se le presta la atención necesaria.

Los miembros de la comunidad deben participar en todas las fases, sobre todo y más directamente en la fase de montaje, en la que la toma de contacto directo con el proyecto es fundamental para que lo sientan como suyo. También, en proyectos técnicos, se le requerirá un pago a la comunidad por la aplicación instalada por la simple razón de que si algo se paga, se trata con más cuidado y también se considera más de uno mismo. Además, hay un cierto factor de orgullo en ello, el poder considerar que ha sido comprado con el dinero de cada uno de ellos. (Realmente, a nivel financiero resulta ser un pago prácticamente simbólico. Sólo suele suponer una pequeña parte del coste total del proyecto). Conviene también desglosar los costos y especificar qué es lo que se está cobrando a la comunidad y que está siendo aportado por la organización en cuestión.

La información que se dé sobre el proyecto debe ser concreta y nunca se deben crear falsas expectativas sólo porque existan deseos o necesidades por parte de la comunidad. El proyecto debe estar desde el principio bien definido ya que el incumplimiento de lo anunciado puede crear desilusión o rechazo.

Si por cualquier circunstancia es necesario establecer prioridades, aunque únicamente signifiquen que ciertas familias serán beneficiadas de la aplicación antes que otras, es conveniente explicar los criterios de selección a fin de evitar conflictos innecesarios dentro de la comunidad.

Todos estos puntos son tremendamente importantes ya que, en gran número de casos, el proyecto fracasa no por errores técnicos o de cálculo sino por la mala administración o planteamiento, lo cual convierte en absurdo el esfuerzo económico y humano realizado.

1.2.2. CASO ESPECIAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO: ACCIONES DE EMERGENCIA.

Entre los distintos tipos de labores de desarrollo, destaca uno por estar ubicado en un contexto de extrema urgencia, rapidez y tensión en las que se desarrolla: son las labores de emergencia ante catástrofes. En este punto nos centramos en ellas, caracterizándolas y marcando sus pautas generales.

Antes de comenzar, como indicación orientativa, conviene afirmar que la decisión de lanzar una operación de emergencia debería apoyarse en criterios

previamente establecidos a cerca de la gravedad de la catástrofe, en las necesidades de las víctimas y su grado de vulnerabilidad.

1.2.3. CARENCIAS HABITUALES EN LAS ACCIONES DE EMERGENCIA.

En las labores de emergencia, muchas veces aparecen carencias que empeoran el desarrollo y eficacia de las mismas, tales como:

- La falta de criterios claros previamente establecidos abre la puerta a que la decisión sea política y pesen más factores tales como la presión social, la atención de los medios de comunicación, los intereses de la política exterior o la búsqueda de “vistosidad”.
- La ausencia de planes de contingencia y/o protocolos de actuación que definan de antemano funciones y responsabilidades, así como una secuencia lógica de actuación en función del tipo de desastre, condiciona la calidad de la respuesta.
- La existencia de escasa atención a la prevención y mitigación de desastres, a la ayuda humanitaria de larga duración como la que se requiere en conflictos armados o desplazamientos masivos de población y al apoyo regular a organizaciones internacionales y ONG especializadas en este tipo de asistencia.
- La falta de articulación entre emergencia y reconstrucción. Para una mayor efectividad, la respuesta de emergencia debe mirar hacia la rehabilitación, reconstrucción y desarrollo posteriores a la crisis. Es decir, que la ayuda debe contemplar, además de las necesidades inmediatas, cuestiones de medio y largo plazo relacionadas con la vulnerabilidad y la capacidad de autosostenimiento de las comunidades afectadas por la catástrofe.

Por otra parte, muchas veces los obstáculos en el desarrollo reglamentario o burocrático han impedido que se lleve a cabo con eficacia y rapidez la ayuda necesitada.

En ocasiones, como en el caso de la Cooperación Española, se opta por un modelo que se limita a cubrir las necesidades inmediatas: salvamento, búsqueda de supervivientes, atención sanitaria de urgencia, etc. Es lo que se define como “*modelo Hércules*”, por ser el uso de estos aviones la parte más visual de la operación. Este tipo de intervención consigue salvar vidas y es una contribución valiosa pero olvida que también es posible una actuación política para prevenir y atajar situaciones de crisis, identificar factores de riesgo e introducir medidas de prevención, hacer frente a la vulnerabilidad y crear capacidad de respuesta y recuperación en la población y en las instituciones locales.

El “*modelo Hércules*” es atractivo para la cooperación oficial por su visibilidad y su impacto en la opinión pública pero plantea problemas de coste-eficacia:

- A menudo el coste del transporte supera el valor de la carga.
- Los envíos, no siempre los más necesarios, se amontonan en aeropuertos al borde del colapso.
- Genera problemas de distribución a las organizaciones locales,
- Se retrasa la llegada de la ayuda por la tardanza en tomar las decisiones y el tiempo requerido para el transporte.

Este modelo reduce lo humanitario a problemas de transporte y distribución de materiales de socorro, dejando a un lado otras dimensiones esenciales como son:

- Los problemas de desarrollo a más largo alcance.
- Los derechos y dignidad de las víctimas.
- El fortalecimiento de las capacidades locales, que son el factor clave para salvar vidas en las primeras 24 ó 48 horas, cuando la ayuda externa todavía no ha hecho acto de presencia y los aviones de los donantes aún no han despegado.

1.2.4. PROPUESTAS PARA UNA ÓPTIMA LABOR DE EMERGENCIA.

Expuestas estas carencias o problemas, se sugiere una metodología más apropiada a llevar a cabo en estas situaciones de extrema necesidad.

Antes de nada, debe estar claro que las catástrofes humanitarias requieren una respuesta proporcionada, rápida y eficaz de la comunidad internacional.

La ayuda de emergencia debe estar libre de interferencias políticas, ser equitativa y basarse en las necesidades de las víctimas y en el derecho de todo ser humano a recibir asistencia cuando su vida y su dignidad se encuentran amenazadas. En países como España, la Ley de Cooperación establece que la ayuda es no discriminatoria.

Por otra parte, el incremento de recursos se debe producir en un marco de aumento global en el presupuesto de AOD (Ayuda Oficial al Desarrollo) y no a expensas de otras partidas de ayuda al desarrollo. Es importante aumentar las contribuciones a organismos multilaterales y contar con instrumentos presupuestarios y administrativos más flexibles y ágiles y, en concreto, con un fondo de reserva plurianual para afrontar emergencias.

En cuanto a la capacidad de respuesta, es necesario aumentar los medios humanos y técnicos, elaborar planes de contingencia o protocolos de actuación que definan criterios, procedimientos y funciones de los actores implicados, un sistema integrado de gestión, firmar convenios con las principales ONG de socorros y desarrollo y desligar la ayuda de la compra de bienes y servicios de las naciones que estén prestando la ayuda.

Se debe integrar emergencia y desarrollo: el impacto de los desastres depende más de la vulnerabilidad de la población que de la propia naturaleza de la catástrofe. Por ello, es preciso integrar acciones de prevención y

preparación ante desastres, socorros con enfoque de desarrollo, y estrategias de rehabilitación y reconstrucción con un enfoque a largo plazo, contribuyendo con todo ello a reducir la vulnerabilidad y a fortalecer las capacidades locales de respuesta.

Por otro lado, es necesaria una buena coordinación:

- En el ámbito multilateral europeo con ECHO (Oficina de ayuda Humanitaria Europea) y las organizaciones de Naciones Unidas.
- En el país receptor con un papel destacado de las Oficinas Técnicas de Cooperación.

Se sugiere delimitar el papel de las Fuerzas Armadas. Su actuación debería limitarse a actividades derivadas de su participación en misiones de paz, a la creación, cuando sea necesario, de condiciones de seguridad y a proporcionar apoyo logístico cuando no haya otras alternativas disponibles. En situaciones de desastres (huracanes, inundaciones, etc.) no hay ninguna razón que justifique el empleo de las Fuerzas Armadas. Los gastos de operaciones militares que no sean estrictamente humanitarias no deberían imputarse a los presupuestos de AOD.

Por último, debe existir una coherencia de políticas. La política exterior, la cooperación al desarrollo y la asistencia humanitaria deben actuar con una estrategia común de cara a la prevención y resolución de conflictos.

Una vez expresada la naturaleza de las acciones de cooperación y desarrollo, haciendo especial hincapié en las labores de emergencia, pasamos al punto siguiente donde comenzaremos a centrando en el ámbito del agua en el mundo y, en concreto, en el contexto guatemalteco.

1.3 SITUACIÓN MUNDIAL DEL ABASTECIMIENTO DEL AGUA.

1.3.1. SITUACIÓN ACTUAL DE RECURSOS HÍDRICOS.

El agua es el elemento más frecuente en la tierra, aunque únicamente un 2,53% del total es agua dulce, es decir, alrededor de 35 millones de km³. Pero la parte realmente aprovechable de esas fuentes es de aproximadamente sólo 200.000 km³, es decir, menos del 1% del total de agua dulce (solamente el 0,01% de la cantidad total de agua del planeta). Dos terceras partes se encuentran inmovilizadas en glaciares y nieves perpetuas, principalmente en la Antártida.

Además de que los recursos hídricos son escasos, la mayoría de los países emplean medios insostenibles para satisfacer sus necesidades de agua. Si la cantidad de agua que se utiliza es superior a la que se repone mediante

procesos naturales, el exceso se extrae esencialmente de las reservas, que pueden ser acuíferos locales de formación reciente o, en casos extremos, fuentes antiguas de aguas subterráneas. Los **acuíferos** son estratos geológicos que presentan fuentes muy importantes de agua y están amenazados casi en todas partes por la contaminación y el mal uso. En muchas regiones, el suministro de agua dulce de los acuíferos ha descendido catastróficamente. Se han llegado a dar casos en algunas ciudades de China, Iberoamérica y el Asia meridional donde la capa freática está descendiendo a razón de más de un metro por año. Además, la calidad de los acuíferos se ha deteriorado mucho por diferentes razones que se comentan a continuación:

- La agricultura y la industria desvían grandes cantidades de agua, con efectos a veces desastrosos.
- Las escorrentías¹ de la agricultura pueden conducir a la contaminación de los acuíferos con nitratos, plaguicidas y bacterias.
- Aumenta la salinización de las aguas subterráneas debido al bombeo excesivo. El uso para irrigación de aguas residuales sin tratar son una fuente de contaminación por nitratos y bacterias en las aguas subterráneas.

Muchísimos acuíferos se han contaminado por fuentes puntuales como pueden ser sistemas sépticos, fugas en tanques de almacenamiento subterráneo, derrames o disposición inadecuada de sustancias químicas industriales y filtraciones de los vertederos de residuos sólidos peligrosos. El tratamiento inadecuado de los residuos ha conducido a incidencias de cólera, amibiasis, hepatitis A, giardiasis y otras enfermedades. Los nitratos, por otra parte, en elevadas concentraciones pueden causar methemoglobinemia o el síndrome del niño azul².

1.3.2. NECESIDADES GLOBALES DEL AGUA Y SU EXPLOTACIÓN.

1.3.2.1. CONSUMO DE AGUA. ESTRÉS HÍDRICO.

En los países desarrollados, una persona consume un promedio de 500 a 800 litros de agua al día (300 m^3 al año) frente a los 60 -150 litros (20 m^3 al año) que consume una persona en los países en vías de desarrollo (PVD). Cerca de una tercera parte de la población mundial vive en países que sufren **estrés hídrico**³ o escasez de agua entre moderado y alto. A mediados de los noventa, un 40% de la población sufría una grave escasez de agua y se calcula que en menos de 25 años, dos terceras partes (~67%) de la población mundial estarán viviendo en países con estrés hídrico.

¹ Escorrentía: diferencia entre la precipitación sobre la superficie terrestre y la evaporación de esa superficie.

² El sistema digestivo de los niños convierte nitratos en nitritos que bloquean la capacidad de la sangre del bebé para llevar oxígeno y puede provocar asfixia o la muerte.

³ Situación en la que el consumo de agua es superior en el 10% de los recursos renovables de agua dulce.

1.3.2.2. DEMANDA DE AGUA.

Los tres principales factores que causaron un aumento en la demanda del agua en el siglo pasado fueron el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y la expansión del cultivo de regadío. En países con ingresos bajos y medios, se estima que un 82% del agua extraída se destina a la agricultura, un 10% a la industria y un 8% para servicios domésticos. En países de alto ingreso la proporción varía, siendo 30%, 59% y 11% respectivamente.

1.3.2.3. ESCASEZ DE SERVICIOS SANITARIOS.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) informa de que hay entre 2.400 y 3.000 millones de personas que carecen de acceso a servicios sanitarios. La mitad de la población mundial carece de sistemas de alcantarillado básico. Más de 90% de todas las aguas servidas en los países en desarrollo retornan sin tratamiento alguno a la tierra y a las corrientes de agua. Estas limitaciones son más alarmantes en las zonas rurales, donde un 62% de los residentes carecen de acceso a sistemas de saneamiento. La cobertura de saneamiento es mucho peor que la del agua. En los años 90, el número de niños muertos por diarrea causada por la falta de agua y saneamientos seguros superó a las víctimas de conflictos armados registradas desde la Segunda Guerra Mundial. Además, la mitad de las camas hospitalarias del mundo están ocupadas por pacientes con enfermedades transmitidas por el agua, lo que significa que están utilizando servicios sanitarios caros para tratar enfermedades que podrían prevenirse fácilmente.

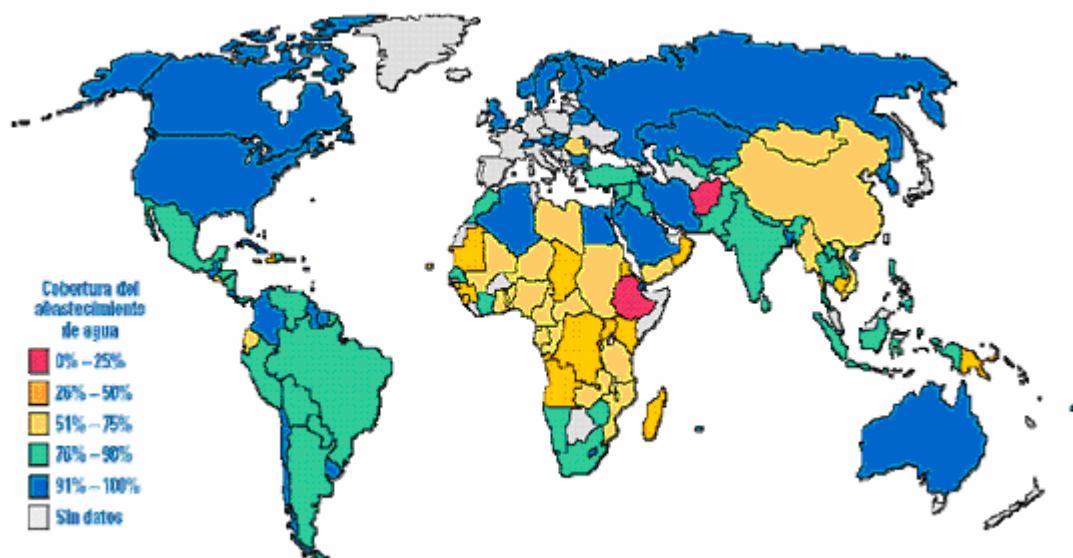


Figura 1. Cobertura mundial del abastecimiento de agua, 2000

1.3.2.4. CONSECUENCIAS DE SOBREEXPLOTACIÓN Y USO NO SOSTENIBLE DE RECURSOS HÍDRICOS.

El impacto en los recursos hídricos de las actividades del ser humano se recoge en un estudio de la FAO, que presenta las siguientes conclusiones:

- Las zonas de filtración y recarga de acuíferos se han visto reducidas, incrementándose el volumen de superficies impermeables y aumentando por consiguiente el riesgo de grandes inundaciones en las zonas bajas del cauce de los ríos.
- La disminución de los niveles de agua y el hundimiento de tierras se han producido al mismo tiempo que las aguas subterráneas se sobreexplotaban.
- El incremento de vertidos de aguas residuales en las grandes ciudades, especialmente en tormentas importantes, ha supuesto una importante carga contaminante al cauce de los ríos.
- El abandono y la falta de mantenimiento del alcantarillado ha supuesto otra fuente de contaminación de las aguas residuales.
- Importantes cantidades de terreno y notables volúmenes de agua se han contaminado debido a los vertidos industriales y la ausencia de planes de tratamiento de residuos sólidos o de las aguas residuales.

1.3.3. MARCO POLÍTICO E INSTITUCIONAL EXISTENTE RELACIONADO CON EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

1.3.3.1. EVOLUCIÓN DE LAS POLÍTICAS INTERNACIONALES.

A través del trabajo de grupos habitualmente no gubernamentales se ha impulsado el conocimiento de la situación real en muchas zonas del planeta en relación a la problemática referente al abastecimiento de agua. Se ha ido desarrollando un interés y una conciencia del tema a nivel mundial y se ha comenzado a incluir dentro de las prioridades de organismos de mayor envergadura.

1.3.3.2. TRAYECTORIA CRONOLÓGICA.

- **1977:** Da lugar una de las primeras conferencias integrales sobre el agua; se realizó en Mar de Plata, Argentina. Allí se aprobó una declaración que pretendía comenzar una nueva época en la cooperación internacional para el mejoramiento del abastecimiento de agua y el saneamiento en los países en vías de desarrollo (PVD).

- **Años '80:** Según dicha declaración, el decenio de 1980 sería el “Decenio del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental”, cuyo lema pasó a ser “agua y saneamiento para todos”. Organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) comenzaron a participar en planes para el suministro de agua potable a las comunidades rurales. Los primeros proyectos mundiales fueron financiados principalmente

por el Programa de las Naciones Unidas para Desarrollo (PNUD), pero un número creciente de donantes bilaterales les prestaron apoyo.

- **Años '90:** El ámbito del debate internacional respecto del agua potable se amplió. El consenso en torno a las enseñanzas aprendidas durante el decenio anterior comenzó a fundirse con un consenso más amplio que abarcaba la gestión de los recursos hídricos en general. Los principios básicos del nuevo consenso se formularon en la Conferencia Internacional sobre el agua y el Medioambiente, celebrada en Dublín en 1992, expresándose de la siguiente manera:

- *El agua potable es un recurso finito y vulnerable, esencial para la sostenibilidad de la vida, el desarrollo y el medioambiente.*
- *El aprovechamiento y la gestión de los recursos hídricos debe basarse en un enfoque participativo que abarca a usuarios responsables de la planificación y las políticas a todos los niveles.*
- *Las mujeres desempeñan una función crucial en el suministro, la gestión y el resguardo del agua potable.*
- *El agua, en sus diversos usos, tiene un valor económico y debe reconocerse su calidad de bien económico.*

El nuevo enfoque consideraba que el agua es un recurso escaso, cuya ordenación debe tener como base la equidad y la demanda y la participación de los usuarios, incluidas las mujeres, en la elección y el suministro de los servicios.

A mediados de los noventa, los interesados en las cuestiones de abastecimiento de agua y saneamiento habían logrado, por un lado, una considerable unanimidad en torno al programa que debería adoptarse en el sector: cuáles eran las cuestiones que se debían abordar y cuáles las respuestas normativas más indicadas pero, por otro, se enfrentaban al problema central en relación con el abastecimiento de agua y saneamiento, que era pasar de la teoría a la práctica.

- **Principios del nuevo milenio:** Como consecuencia de la evaluación mundial del abastecimiento de agua y saneamiento efectuada en el año 2000 por la OMS, UNICEF planteó que se han producido avances desde 1990 pero que aún queda mucho por hacer. La población atendida había aumentado, pero 1.100 millones de personas aún no disponían de un mejor abastecimiento de agua y más del doble de esta cifra no tenían acceso a servicios de saneamiento adecuados.

En la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas de 2000, aprobada por los dirigentes de los 189 Estados miembros de la ONU, se establecieron metas y plazos que pretendían de nuevo garantizar un avance real en aquellos asuntos más apremiantes relacionados con el desarrollo. La meta relativa al agua se vio reafirmada en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en 2002 en Johannesburgo, donde además se incluyó otra meta en materia de saneamiento. Se propuso concretamente reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carecen de acceso a agua potable y a

servicios de saneamiento, además de poner fin a la explotación no sostenible de los recursos hídricos.

- Situación actual: En el ámbito de actuación de los grandes organismos internacionales comprobamos que el desarrollo real de los proyectos de cooperación ha sido muy escaso para la capacidad de estas organizaciones, que se han limitado, en muchas ocasiones, a rellenar informes que se repiten decenio tras decenio y que sólo plantean soluciones puntuales para zonas específicas. Aunque al menos se debe también resaltar que se han conseguido avances en el proceso de concienciación en la trascendencia de la problemática relacionada con el abastecimiento de agua y los problemas que acarrea en la salud de millones de personas. Queda latente que la solución real pasa por enmarcar el problema del agua dentro del marco global. Sólo a través de políticas que permitan realmente a los gobiernos de los países más afectados tener una economía más desahogada para poder intervenir en infraestructuras y servicios públicos, mejorando el nivel de vida en estas sociedades además de mejorar las condiciones de educación de dichos países para poder generar a personas aptas (entre otras muchas cosas, para dichos trabajos), se podrá encauzar una solución a la larga en el problema de abastecimiento.

1.3.3.3. IMPROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS PLANTEADOS.

Para alcanzar a cubrir las necesidades de los 7105 millones de habitantes en la tierra que se estiman para el 2015, sería necesario prestar servicios a 107 millones de personas más cada año, o 292.000 personas más al día. En cuanto al saneamiento, el objetivo es aún más difícil: se debería prestar servicios a 145 millones de personas más al año, ó 397.000 personas más al día, cuando a lo largo de los noventa sólo 75 millones de personas al año consiguieron acceso a servicios de saneamiento mejorados. Es evidente que al ritmo actual de avance estos objetivos no pasan de ser simbólicos.

1.3.3.4. ESTADO ECONÓMICO- FINANCIERO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA.

En general, dentro de cada país, el gobierno suele ser el agente responsable de la prestación y financiación del servicio de abastecimiento y saneamiento de agua. Además, a través de esta financiación pública se asegura un acceso igualitario a ese servicio básico impidiendo que la población que no disfruta, por ejemplo, del saneamiento, prescinda del mismo si ha de pagar por él, limitando su desarrollo. Por último, al tratarse el abastecimiento de un derecho fundamental incluido en el compromiso adquirido por organismos internacionales ya mencionados, los gobiernos tienen la obligación de garantizar la prestación de este servicio a sus habitantes.

En algunos casos, en el suministro de agua y saneamiento, la falta de fondos gubernamentales se ve agravada por la existencia de tarifas insuficientes para recuperar los costos y, con frecuencia, se tolera la falta de pago de los usuarios. Esta situación impide a las autoridades locales ampliar sus servicios para responder a las necesidades de una población urbana en constante crecimiento. Como resultado, los servicios de agua disminuyen en

cantidad y calidad en los barrios de clase media y no llegan a los nuevos barrios pobres.

Por otro lado, es poco probable que las compañías privadas se interesen en suministrar servicios de agua y saneamiento a las zonas rurales de los países de bajos ingresos porque se considera que las zonas rurales no generan beneficios. Algunas empresas privadas incluso han encontrado la manera de excluir a estas poblaciones de los servicios, incluso en las áreas urbanas. (En Cartagena, Colombia, un gran asentamiento precario no recibió servicios de suministro de agua porque la empresa proveedora consideró que estaba fuera del área urbana).

La privatización del suministro de agua y saneamiento, en ocasiones, se ha traducido por la imposición de tasas mucho más elevadas, en ocasiones de manera súbita y algunas veces con consecuencias desastrosas, entre ellas, empobrecer a los usuarios o excluir a personas del uso de un servicio tan necesario.

Pero es importante señalar que no todas las privatizaciones del suministro de agua y saneamiento han sido un fracaso. De hecho, el éxito de las privatizaciones del suministro de agua depende, en gran medida, de la regulación gubernamental, de los intereses del inversor y del estado inicial de la empresa. Los países que contaban con servicios aceptables antes de la privatización suelen mantenerlos en buen estado después de dicho proceso. Cuando los estratos más desfavorecidos de la sociedad se han beneficiado de los servicios del suministro del agua privatizados es porque la voluntad política ha estado muy presente. En Bolivia, las concesiones del suministro de agua y saneamiento de La Paz y El Alto se adjudicaron a la oferta que se comprometiera a realizar más conexiones nuevas en los barrios más humildes. El ganador de la concesión se vio obligado a conectar a 72.000 familias a la red de conducción de agua y a 38.000 a la red de saneamiento en un periodo de cinco años. Además de obligar contractualmente a los proveedores privados a ampliar los servicios, los gobiernos han utilizado para este fin los ingresos obtenidos con las privatizaciones. Pero, como contrapartida, lo que sucede muchas veces es que los proveedores privados internacionales no cumplen los acuerdos suscritos con los gobiernos anfitriones. Consecuentemente, será necesario mucho más apoyo internacional para instituir la capacidad de regulación en esta y otras áreas de infraestructura si se pretende incrementar la contribución del sector privado en la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

Se han ofrecido incentivos financieros tales como subvenciones de capital a los proveedores que abastecieran a los barrios pobres. Además, las altas tarifas que tienden a acompañar las privatizaciones pueden compensarse con subsidios dirigidos a las personas sin recursos. En Chile, las subvenciones gubernamentales garantizaron que ninguna familia gastase más del 5% de sus ingresos en agua.

En conclusión, todos los países deben tener la capacidad de decisión sobre su regulación de tal forma que se asegure el abastecimiento de agua ya sea a través de un suministro público o privado para todos los usuarios. La única forma de implementar soluciones reales y perdurables estará fundamentada en la transferencia de conocimientos y experiencia entre los diferentes países patrocinada a través del financiamiento de los países ricos que, al mismo tiempo, han de evitar caer en la dinámica del pasado en el que asumían toda la ayuda y cooperación técnica impidiendo ese trasvase de información imprescindible.

1.3.4. PANORAMA DEL AGUA EN GUATEMALA. SITUACIÓN ACTUAL.

Como en la mayoría de países de la región Centroamericana, Guatemala aún se enfrenta al reto de lograr cobertura universal de los servicios de agua potable y aguas residuales pero, principalmente, es su gobierno quien debe realizar esfuerzos integrales, tanto el gobierno central como el de las municipalidades, para garantizar el ejercicio permanente del derecho al agua potable ofreciendo servicios de buena calidad.

El régimen jurídico del agua en Guatemala no cuenta con una ley general, sino que se integra con diversas normas contenidas en numerosas leyes emitidas en diferentes períodos de tiempo, fundadas, además, en principios disímiles.

Esta situación no favorece el aprovechamiento y conservación integrales de las aguas. Por ello, tampoco garantiza el acceso a los diferentes tipos de uso de agua ni asegura que el doméstico sea el uso prioritario que se le dé a ésta. La fragmentación de las disposiciones legales tampoco asegura la protección de las fuentes que abastecen los sistemas domésticos; dichas fuentes son objeto de usurpación (derivadas sin autorización para otros usos) y de contaminación (disposición de aguas residuales y desechos sólidos provenientes de diversas actividades productivas en las mismas).

Hoy en día se estima que el régimen legal de las aguas vigente no es observado ni por los propios organismos del estado y sus diversas agencias ni por los particulares. En la realidad se repiten muchas relaciones de poder económico y político que producen o reproducen esquemas de exclusión social y ambientalmente insostenible.

Los servicios públicos de agua potable y aguas residuales están regulados fundamentalmente por el Código Municipal y en el Código de Salud. A diferencia del resto de países de Centroamérica, compete a los municipios prestar servicio, regularlo y fiscalizarlo. Este enfoque legal convierte a las autoridades legales en jueces de la gestión de los servicios en cuestión y, por lo tanto, no se ha podido garantizar cobertura universal y servicios de buena calidad a toda la población. El Código Municipal autoriza a los municipios a contratar actividades que formen parte del proceso de préstamo de dichos servicios así como a la concesión de su prestación a terceros, reservándose siempre la facultad de fijar tarifas.

La evidencia empírica señala que, en general, los servicios municipales prestados son de baja calidad. Además, los municipios que subsidian el servicio prestado en los cascos urbanos no tienen capacidad para ampliarlos a las zonas rurales ni estiman el costo real de proveerlos, por una parte porque las tarifas no responden a una estructura definida ni a un régimen diferenciado según destino y usuarios y por otra porque no cuentan con la capacidad institucional necesaria. Esta evidencia señala que en el área rural los sistemas de abastecimiento son autosuficientes y están a cargo y bajo la responsabilidad de las propias comunidades y que en general, las aguas residuales domésticas no son tratadas.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los índices de cobertura de servicios de agua para consumo humano y saneamiento:

Área	Agua para Consumo Humano		Saneamiento
	Cobertura	Desinfección	Cobertura
Urbana	92 %	40 %	72 %
Rural	54 %	15 %	52 %

Basado en los datos anteriores, se estima que en Guatemala carecen de servicio de agua potable cerca de 3.7 millones y 4.2 millones de personas de saneamiento adecuado.

El Código de Salud establece normas claras en relación con la calidad del agua para consumo doméstico y respecto a la forma de disponer de las aguas residuales. Éstas deben observarse y cumplirse en cada una de las 332 municipalidades del país. En ausencia de un programa nacional para facilitar y fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones sanitarias del gobierno central, el Legislativo reitera la emisión de normas tipificando como delito tal incumplimiento y el Ejecutivo hace las denuncias respectivas. Estas medidas legales de excepción son aleccionadoras pero no promueven mecanismos reguladores ni financieros para convertir en realidad el cumplimiento de tales normas sanitarias por parte de los prestadores.

Representación de los servicios de agua potable y saneamiento básico y hogares servidos:

Servicio Básico	Hogares Área Urbana	%	Hogares Área Rural	%
Total de Hogares	951,654	100	1,239,797	100
Con conexión de agua	846,711	89	703,466	56.7
Sin conexión de agua	104,943	11	536,331	43.3
Con Conexión de drenaje	727,363	76.4	110,193	8.9
Sin conexión de drenaje	224,291	23.6	1,129,604	91.1

Figura 2. Informe Presidencial 2004, p.152-153.

Se puede afirmar que son los consumidores de la periferia urbana y de las áreas rurales, especialmente mujeres y niños pobres e indígenas, quienes

sufren los impactos negativos de la situación descrita. Mejorar la calidad de los servicios y lograr acceso universal pasa a ser un problema de planteamiento de política pública nacional que debería describir claramente cómo pretende el Estado hacer efectivo el derecho humano de acceso al agua a todos y cada uno de los guatemaltecos. Esto va más allá de una declaración de principios que exija recursos financieros destinados, a partir de un programa nacional, a dos puntos fundamentalmente: a facilitar y acompañar a los municipios en el proceso de construir capacidades institucionales y a incorporar a los representantes de la sociedad civil organizada al proceso de toma de decisiones.

1.3.5. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA COMO HERRAMIENTA DE LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO. TIPOS. SOSTENIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICO-SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL.

En muchas ocasiones, el abastecimiento de agua en PVD, sobre todo en las áreas rurales más remotas, normalmente muy pobres, se lleva a cabo, si no enteramente, con una importante ayuda de ONGs locales y extranjeras.

1.3.5.1. TECNOLOGÍAS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA.

Aquí se plantean las distintas tecnologías que actualmente están siendo empleadas en el abastecimiento de agua, tanto en el plano de la captación como en el de transporte y distribución, fundamentalmente en el ámbito rural.

Las distintas tecnologías existentes para el abastecimiento de agua están condicionadas por el nivel de servicio que se prestará, por cómo y dónde se abastecerá de agua a los usuarios y en qué cantidades. Existen tres categorías fundamentales respecto al diseño básico de los sistemas:

- **Sistema de punto único:**

Pozos excavados o de sondeo de diámetro pequeño de los que se extrae agua mediante bombas manuales.

- **Fuente pública de agua:**

Sistemas de agua corriente que alimenta a un número limitado de grifos públicos que abastecen de agua a todos los habitantes del vecindario.

- **Conexiones domiciliarias:**

Sistemas de agua que transportan el agua hasta grifos en edificios de viviendas u hogares individuales.

1.3.5.2. TÉCNICAS DE CAPTACIÓN DE AGUA.

Dentro del marco de estudio del ámbito rural existen diferentes tecnologías de abastecimiento de agua tanto en la fase de captación como en la posterior de transporte y distribución. La captación, tratada en este apartado, puede realizarse desde aguas superficiales o desde aguas subterráneas.

- **Captaciones superficiales:**

Incluyen agua de ríos, de manantiales, de lluvia, de lagos y embalses, etc. Exceptuando el agua de lluvia, el resto presenta un serio inconveniente respecto a las aguas subterráneas ya que la existencia de zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba del punto de toma puede conllevar a problemas sanitarios.

- Ríos y arroyos: Para decidir si nos pueden servir de fuente de abastecimiento, hace falta conocer la magnitud de las precipitaciones en la cuenca, la superficie de la misma y el coeficiente de escorrentía. Se debe determinar el caudal mínimo anual y, por tanto, qué cantidad de agua podemos asegurar durante todo el periodo del año completo. En función de si el caudal circulante es o no elevado, las soluciones técnicas son distintas.

- Manantiales: las obras de captación de manantiales deben evitar la penetración de las aguas exteriores en el manantial, así como cualquier organismo extraño.

- **Captación de agua de lluvia:**

Puede ser recogida desde el techo de una casa o desde otras superficies con cunetas y bajantes que conduzcan a uno o más depósitos siguiendo varios métodos:

- Captación de techo: tras atravesar un filtro, el agua transita por canalones hasta unas cisternas.
- Captación de superficies: el agua que se escurre de los suelos menos permeables durante las precipitaciones intensas puede ser captada en pozos revestidos de material aislante o desviada a pozos de sondeo diseñados especialmente para recargar artificialmente acuíferos de aguas subterráneas.

- **Embalses superficiales:**

Capturan las aguas subterráneas en los lugares donde fluyen más cerca de la superficie, en valles y lechos de ríos secos. El agua se puede almacenar incluso en un acuífero a poca profundidad bajo la superficie, con pérdidas por evaporación mínimas, purificándose naturalmente al ser filtrada por el suelo.

- **Pozos superficiales o cavados a mano:**

Son de uso frecuente en países en desarrollo. En muchas regiones han sido empleados durante siglos.

- **Pozos perforados a máquina:**

Es análogo a los pozos cavados a mano solo que empleando esta maquinaria se pueden perforar los pozos mucho más profundos y más rápidamente.

1.3.5.3. TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN.

Puesto que la mayoría de las poblaciones no disponen de manantiales o pozos cercanos en condiciones sanitarias adecuadas para el consumo humano, se hace necesario el transporte y la distribución del agua.

El transporte desde el punto de captación hasta el de consumo puede realizarse a presión, mediante tubería y bombeo, o mediante lámina libre, mediante un canal. La decisión viene absolutamente condicionada por la topografía de la zona aunque, por motivos sanitarios evidentes, el empleo de canales suele ser más empleado en obras de regadío y no tanto para el consumo humano directo.

La distribución puede realizarse a través de una red de tuberías a baja presión que conecta habitualmente el depósito de la comunidad y los puntos de consumo.

Los sistemas por gravedad se basan en la utilización de energía gravitatoria para el transporte del agua entre el punto de captación y el punto de consumo. Evidentemente, la situación óptima de estos sistemas es aquella en la que la captación se encuentra en una cota superior a la de la comunidad. Si se dan las condiciones necesarias, es la opción más ventajosa.

Otro sistema de distribución y transporte aún más habitual que el anterior en el ámbito rural es el de bombeo, especialmente el realizado a través de bombas manuales. Se opta por instalar una bomba cuando es necesario transportar el agua de una altura a otra (por ejemplo, para sustraerla de un pozo o para almacenar en un tanque de distribución que esté elevado). A continuación, presentamos las distintas técnicas de bombeo empleadas, clasificándolas en función de la fuente de energía que emplean para su funcionamiento:

- COMBUSTIBLE FÓSIL:

Se trata de accionar la bomba mediante un motor de combustión que obtiene su energía de la combustión de gasolina, diésel o queroseno.

VENTAJAS:

- Tecnología disponible.
- Alta entrega, adecuada a la demanda.
- Bajo capital inicial de inversión.
- Fácil de usar.

INCONVENIENTES:

- La economía depende del costo del combustible.
- La escasez de combustible es común en muchos lugares.
- Las piezas de repuesto son difíciles de obtener en lugares remotos.
- Mantenimiento técnico dificultoso en lugares remotos.

- La vida útil es relativamente corta.
- Roturas comunes.
- Alto costo de operación y mantenimiento

- BOMBEO MANUAL:

La energía que se le aporta directamente a la bomba será de origen humano. Es decir, que el usuario será quien físicamente aporte energía a la bomba moviendo una manivela para la obtención del agua.

VENTAJAS:

- Disponible.
- Bajo costo de inversión.
- Tecnología simple, fácil de instalar y de mantener.

INCONVENIENTES:

- Bajo nivel de entrega de agua, limitado a la resistencia del cuerpo humano. (Un hombre puede elevar, como promedio, 10 m³/día a una altura de 10 metros sobre el nivel del agua del pozo).
- Se desvía el recurso humano de otras actividades productivas y resulta un esfuerzo mayor.
- Alto costo de alimentación y de salarios.

- BOMBA DE TRACCIÓN ANIMAL:

Tiene cierta similitud con la bomba manual, solo que la potencia invertida para el bombeo la aportan animales.

VENTAJAS:

- Buena disponibilidad.
- Costos de inversión moderados.
- Fácil de introducir.
- Potencia apropiada para pequeñas escalas.

INCONVENIENTES:

- Alto costo de alimentación, que involucra una producción extra de alimentos para los animales. Muchas veces, en las aldeas pequeñas, los animales grandes suponen un gran lujo.
- Se requiere alimentación, incluso cuando no se están utilizando para el bombeo.

- ENERGÍA SOLAR:

Los rayos del sol inciden sobre unas células fotovoltaicas que transforman dicha energía solar en energía eléctrica para alimentar una pequeña bomba.

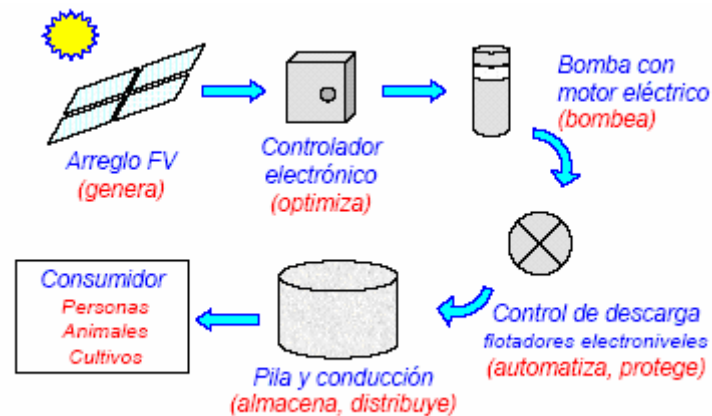


Figura 3. Componentes y operación de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua

VENTAJAS:

- Suministro ininterrumpido de potencia.
- Alta confiabilidad.
- Larga vida útil módulos (>20 años).
- Simplicidad diseño.
- Menores costos de generación a largo plazo que alternativa (pequeña planta a combustibles fósiles).
- Independencia de la disponibilidad /suministro de combustibles.
- Bajo mantenimiento.
- No producen emisiones, ni ruido ni polución térmica.
- Cero impacto ambiental en su instalación y operación.

INCONVENIENTES:

- Mayor inversión inicial frente a otras alternativas (frente a plantas a gasolina y pequeñas diesel).
- Reducida economía de escala.
- Contaminación debida al manejo inapropiado de baterías.
- Dificultades para encontrar piezas de repuesto en las localizaciones de la instalación.
- Debe haber suficiente cantidad de irradiación solar para que merezca la pena instalar dicho sistema.

- ENERGÍA EÓLICA:

El fundamento de este sistema es que el viento hace que giren unas paletas de un molino. Ese movimiento giratorio, bien se transformará en energía eléctrica que alimente a la bomba o bien, directamente se accionará la bomba de manera mecánica.



Figura 4. Molino de viento

VENTAJAS:

- Es la energía más barata frente a otras energías alternativas y comienza a ser competitiva frente a otras convencionales.
- Alta confiabilidad de los equipos, aunque el suministro de agua puede ser variable.
- Larga vida útil de los equipos.
- Simplicidad diseño.
- Fácilmente operable por personal disponible en el país.
- No se producen emisiones ni polución.

INCONVENIENTES:

- Inversión inicial mayor a otras alternativas (frente unidades a gasolina de algunos kW de potencia).
- Requiere de evaluación local del potencial eólico.
- Bombeo dependiente de la disponibilidad del recurso eólico local.
- El suministro de agua puede ser intermitente, con lo que se plantea un gran inconveniente para el uso que nosotros estamos planteando de bombeo de agua.

1.3.5.4. SISTEMAS EMPLEADOS EN GUATEMALA.

Los sistemas actualmente implantados en la región del Quiché y de Sololá, en Guatemala, son principalmente sistemas de abastecimiento de agua por gravedad. Afortunadamente, la topografía montañosa de la zona permite que, mediante la simple energía gravitatoria se pueda distribuir el agua desde un manantial hasta el punto de distribución, normalmente focos puntuales en cada vivienda. Con lo cual, no se necesita ningún tipo de bombeo. De todas formas, si en alguna parte el nacimiento de agua es insuficiente o se encuentra en una cota más baja que la de la aldea, se debe encontrar agua de otras fuentes, como podrían ser pozos de agua subterránea. En estos casos, de las cuatro posibilidades de bombeo mencionadas antes, se emplea la de bombeo manual. En estas regiones, desafortunadamente las bombas de funcionamiento por energía eólica o solar quedan descartadas puesto que son regiones que no tienen viento suficiente durante ninguna parte del año y, en cuanto a las irradiaciones solares, sólo sería mínimamente viable en la temporada seca, que sólo abarca la mitad del año aproximadamente. La otra mitad del año, la época de lluvias, no se tendría suficiente sol; una inversión excesivamente elevada para el uso que se obtendría de ella. Por otro lado, la instalación de una bomba diesel, de gasolina o de queroseno no sería viable por el alto coste de funcionamiento. La financiación del combustible sería absolutamente inviable. Así que, consecuentemente, nos quedaría el bombeo manual como solución a la obtención de agua en el caso en el que la extracción de ésta sea necesaria. (A nivel teórico, se podría aplicar también el bombeo por tracción animal aunque, en la práctica, los inconvenientes de este método lo hacen inviable en la mayoría de los casos).

1.4. LABORES DE EMERGENCIA EN PROYECTOS EN COOPERACIÓN Y AYUDA AL DESARROLLO.

1.4.1. LA ÚLTIMA EMERGENCIA: EL HURACÁN STAN. IMPACTO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN GUATEMALA.

Tras una estación de lluvias con un nivel de precipitaciones observadas por encima de la media anual normal, se desarrolla Stan, la tormenta tropical no. 18 con nombre y el 10º huracán de la muy activa temporada ciclónica del Atlántico en 2005, que ha roto record no vistos desde la década de 1930. Comenzó relativamente débil pero llegó a alcanzar categoría 1 en la escala Saffir-Simpson al tocar tierra en territorio mexicano del Estado de Veracruz. Su velocidad de desplazamiento fue frenada y transitó lentamente, como tormenta tropical sobre el territorio mesoamericano afectando de manera severa al sureste de ese país, las porciones nor-orientales altiplánicas y costera de Guatemala y El Salvador.

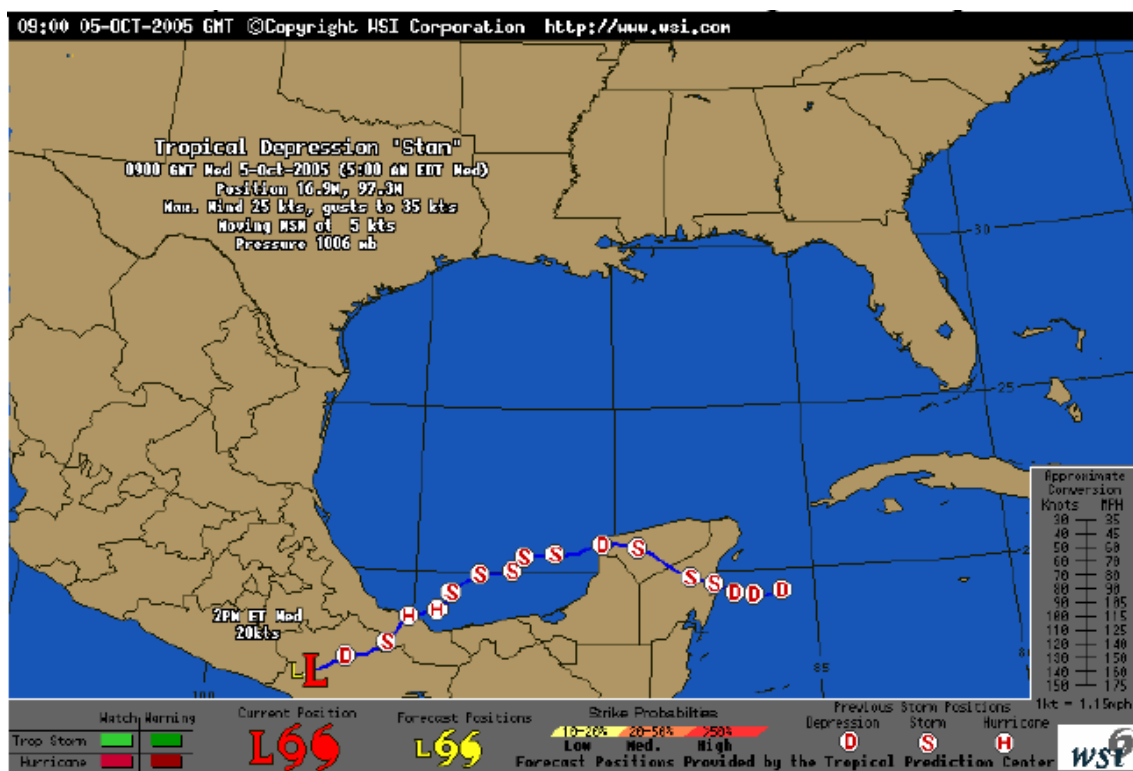


Figura 5. Trayectoria del huracán Stan. Fuente: WSI

En el caso de Guatemala, 15 departamentos de 22 en el país fueron afectados, en los cuales 133 municipios del total de 333 en el país sufrieron el impacto y un total de 1.158 comunidades se vieron afectadas. Las lluvias afectaron principalmente el caudal de pequeños y grandes ríos, ocasionando deslizamientos y gran acarreo de material, desbordamientos e inundación en las planicies costeras. Persistieron los problemas de inundación en las orillas de los principales lagos y lagunas debido a que mantienen niveles altos de agua. En algunas zonas se presentaron niveles elevados de saturación del suelo creando condiciones óptimas para los deslizamientos de tierra principalmente. Éstos se produjeron especialmente en zonas como las cercanas al Lago Atitlán. La razón de este fenómeno es que las montañas, al ser geológicamente recientes, de origen volcánico, tienen una pendiente muy pronunciada. Este factor, junto con la composición del terreno hacen que al saturarse el suelo de agua, el lodo que se forma no puede aguantar su propio peso y resbala montaña abajo, creciendo en tamaño, velocidad y energía gradualmente a medida que desciende, arrastrando todo aquello que encuentra en su paso. Quizás el suceso más crítico acarreado por estos deslizamientos de tierra fuese el acontecido en la comunidad de Panabaj, donde las riadas de lodo, piedras y vegetación sepultaron gran parte de la aldea y a un elevado porcentaje de sus habitantes que, en el momento, se encontraban en el interior de sus viviendas, durmiendo.

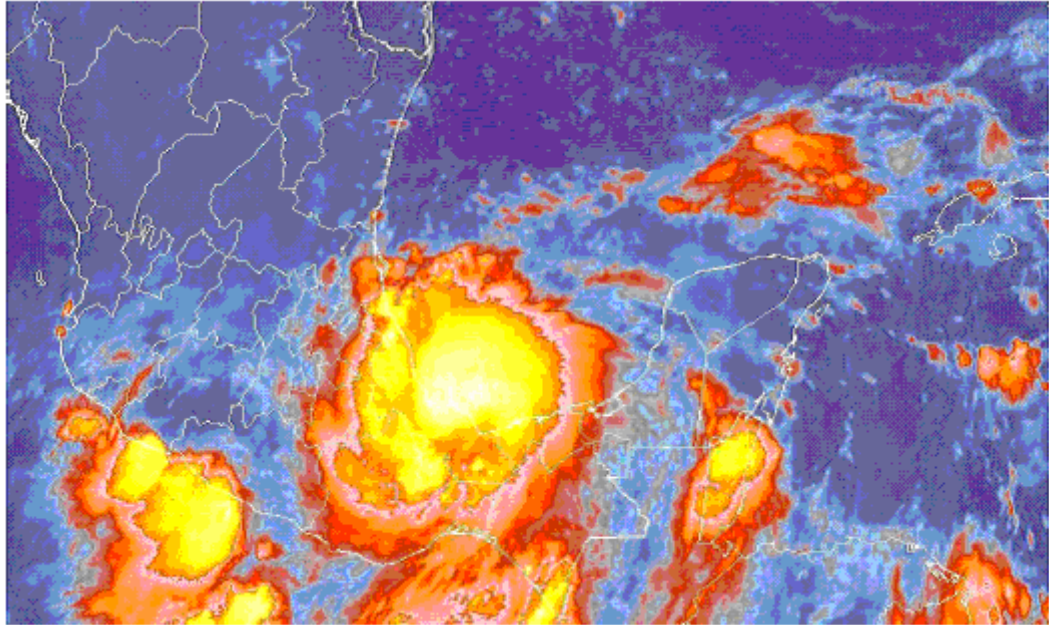


Figura 6. Imagen del satélite GOES con el centro del huracán Stan impactando el sur de Veracruz el 4 de octubre a las 10:00 horas local.

El gráfico siguiente ilustra los rangos de impacto de la tormenta Stan en los diversos municipios de los principales departamentos del país.

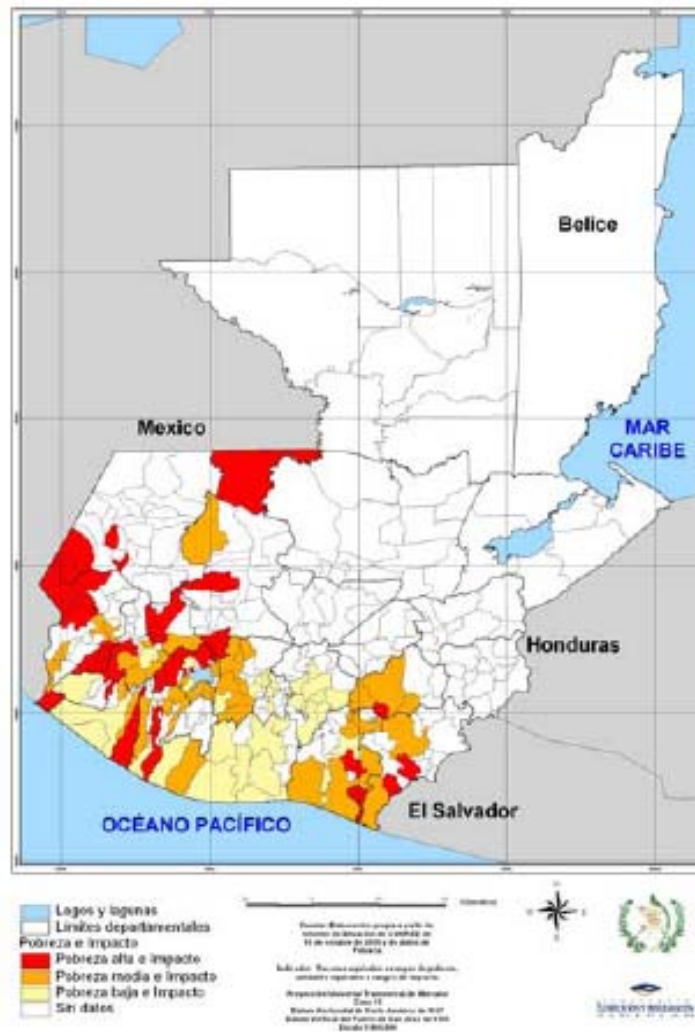


Figura 7. Efectos de la tormenta tropical Stan. Rango de impactos.

EVALUACIÓN DE DAÑOS.

a) Población y áreas afectadas

Un total de 3.500.000 personas afectadas directa e indirectamente (31% de la población), de las cuales 474.821 personas damnificadas de manera directa (4% de total de población). A 22 de octubre se reportaban 669 personas fallecidas (confirmadas), quedando aún 884 personas desaparecidas. En el momento de mayor crisis se contabilizaron 42.941 personas en albergues.

DEPARTAMENTO	No. de Comunidades Afectadas	Fallecidos	Desaparecidos	Heridos	Damnificado
Guatemala	24	0	2	0	1404
Santa Rosa	70	8	0	0	9017
Jalapa	26	14	1	0	79
Jutiapa	56	3	3	0	15588
Sacatepequez	14	2	0	0	2689
Chimaltenango	40	31	12	3	14282
Escuintla	258	25	0	49	157824
Solota	83	271	691	208	28034
Totonicapán	5	5	0	0	3440
Quetzaltenango	23	18	0	1	19686
Suchitepequez	22	2	0	1	3381
Retalhuleu	45	2	0	13	8799
San Marcos	359	264	133	29	185938
Huehuetenango	100	15	1	3	14619
Quiche	33	9	1	79	10148
TOTAL	1,158	669	844	386	474,928

Figura 8. Situación de la población afectada. Fuente: CONRED

b) Agua y Saneamiento

Con anterioridad al desastre, el sector de agua y saneamiento contaba, en todo el país, con niveles de cobertura del 70.5% en agua para consumo humano (1.552.209 hogares) y el 85.5% en servicio sanitario (1.881.491 hogares) (Informe Nacional de Desarrollo Humano, PNUD).

En lo que respecta al agua para consumo humano, el impacto de la Tormenta Stan se dio en dos ámbitos, el primero en los sistemas de abastecimiento, afectando a 900.068 habitantes y el segundo en los pozos artesanales (pozos excavados a mano), de los que se contabilizan 26.258 dañados (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social MSPAS) (115.535 personas afectadas, calculado con valor de 4.4 personas por vivienda según censo), para un total 1.015.603 habitantes.

Departamento	Letrinas	Pozos	Acueductos	Población total sin servicios
Retalhuleu	2,854	3,069	4	23,354
Suchitepéquez	2,709	3,021	11	39,354
Jutiapa	2,040	2,191	11	32,699
Jalapa	900		3	11,584
Santa Rosa	4,700	5,063	9	43,020

Sololá	5,606		55	28,148
Escuintla	9,706	10,438	7	170,067
Chimaltenango	2,380		55	76,147
Huehuetenango	2,436		71	40,375
Quetzaltenango	3,281		31	216,102
Quiché	1,691		20	29,301
Sacatepéquez	537		3	17,021
San Marcos	2,300	2,476	158	266,488
Totonicapán	20,000		13	21,942
TOTAL	41,140	26,258	451	1,015,603

Figura 9. Afectación en acueductos, pozos y letrinas por Departamentos.

Así pues, las labores de emergencia se iniciaron como resultado de grandes desprendimientos de tierra e inundaciones que ocasionaron la destrucción de cientos de sistemas de abastecimiento de agua a comunidades. Consecuentemente, generó graves problemas sanitarios puesto que la mayoría de las comunidades no tenía otra elección que la de consumir agua de fuentes superficiales contaminadas hasta que se reparasen los sistemas.

Al final del marco de teoría, incluido a continuación de éste, caracterizamos los procesos de emergencia relacionados con el abastecimiento de agua y los servicios sanitarios. El objetivo es intentar plasmar unas pautas generales que planteen un procedimiento a seguir en las labores de emergencia, incluyendo los pasos previos preventivos, necesarios para poder llevar a cabo una intervención eficaz y exitosa.

2. MARCO TEÓRICO.

En el marco teórico, se busca plasmar una base que permita entender y poder asimilar los fundamentos de los sistemas de abastecimiento de agua por gravedad. Gracias a él, se puede comprender e incluso implementar la aplicación real incluida después en el marco práctico. Además, se pretende que mi PFC tenga las funciones de un manual que puedan servir para aportar a la formación local de albañiles o ingenieros hidráulicos o también de futuros cooperantes internacionales que lo puedan necesitar.

Para elaborar esta sección, me he basado fundamentalmente en cuatro libros. Empleé como guía “A Handbook Of Gravity-Flow Water Systems”, de Thomas D. Jordan Jr., una obra basada en la construcción de sistemas de abastecimiento de agua en aldeas rurales de Nepal. En él, también se incluye mucha información técnica que trata de la construcción específica a nivel de obra de distintos elementos del sistema. Es un libro de carácter muy práctico, así que, a pesar de ayudarme a estructurar el marco, elegí otros títulos para profundizar más en los fundamentos teóricos. Para ello, empleé por un lado “Mecánica de Fluídos”, de Frank M. White, libro que incluye una buena cantidad de información acerca de los fundamentos de la mecánica de fluidos en un ámbito general teórico y, por otro, “Manual de Hidráulica”, de Lázaro López Andrés, en el que la teoría de mecánica de fluídos se concreta más ya que es un manual de hidráulica y se puede encontrar un espacio intermedio entre la pura teoría y la práctica. Por último, otro título empleado fue el de “Elementos de Hidráulica General y Aplicada con Motores Hidráulicos”, de I. Rubio Sanjuán. En él pude encontrar referente a mi trabajo información relevante a las pérdidas de carga en casos reales. El libro incluye multitud de tablas que valen para realizar estos cálculos.

2.1 INTRODUCCIÓN.

Como se ha mencionado anteriormente, en las regiones de El Quiché y Sololá, la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua funcionan exclusivamente por gravedad. Es decir, que simplemente mediante la energía gravitatoria presente a causa de los desniveles topográficos de la zona, se puede distribuir el agua. No suele ser necesario otro método como el bombeo

de agua, por ejemplo. En el caso de que sí se requiera algún tipo de bombeo, el método más empleado es el bombeo manual.

(Para más información consultar proyecto de “Estudio acerca del empleo de la bomba manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo”, de Unai Tomillo Gutiérrez, www.uc3m.es/uc3m/serve/ORI/Cooperación/principal.html).

En este punto pasaremos a analizar los detalles teóricos y técnicos de un sistema de abastecimiento de agua por gravedad.

2.2 OBJETIVO.

La idea principal del sistema de abastecimiento de agua por gravedad es la posibilidad de distribuir a un bajo coste agua apta para el consumo humano a los habitantes de una comunidad que, si no disponen de dicho sistema, deben invertir gran cantidad de tiempo en desplazarse para conseguir agua que, además, en muchas ocasiones, está contaminada.

La elección de un sistema de abastecimiento de agua por gravedad es ideal ya que el coste de instalación y de funcionamiento es bajo y el mantenimiento que requiere la instalación es fácil de cumplir.

2.3 PROBLEMAS FUNDAMENTALES.

Los problemas por los que un proyecto de este tipo pueda fracasar son, por una parte, de tipo técnico, como por ejemplo si la instalación de tuberías se complica debido a las características del terreno (rocoso, propenso a deslizamientos y corrimientos de tierra), o si en las fuentes se reduce el agua con la que se contó en el diseño del sistema, tanto de manera parcial como totalmente, etc. Normalmente estos problemas pueden preverse y, consecuentemente, pueden idearse distintas estrategias para solventar que surjan dichos problemas. Pero por otro lado, existen problemas que no son meramente técnicos. Son problemas surgidos por el “impacto humano”, es decir, fruto de la influencia humana sobre el sistema. Estos problemas son, por lo general, más difíciles de definir y, por tanto, de solucionar. Se trata normalmente de casos de sabotaje por negligencia (debido a un escaso o nulo mantenimiento), por abuso o deliberados, llevados a cabo por aldeanos descontentos que buscan castigar al resto o por gestos egoístas como puede ser cortar la tubería para desviar parte del agua y regar las tierras de un particular, etc. Otro tipo de problemas ocasionados por el impacto humano son, por ejemplo, la propiedad de las fuentes de agua, la ubicación de las fuentes públicas, si las hay, o de otros elementos claves del sistema (tanques de distribución, cajas de rompedores, etc.) y el reparto de labores.

Así pues, los problemas técnicos se pueden resolver por los ingenieros que trabajan en el sistema pero los problemas ocasionados por el impacto humano se deben reconocer y solucionar por parte de toda la comunidad, siendo esto en muchas ocasiones el principal problema a resolver por los técnicos del proyecto. En este apartado se tratarán ampliamente ambos tipos de problemas.

2.4 CREACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR GRAVEDAD.

2.4.1 EVALUACIÓN DE LA ALDEA Y ESTUDIO DE VIABILIDAD.

La primera fase de la creación de un sistema de abastecimiento de agua por gravedad es la evaluación de la aldea en la que se pretende instalar dicho sistema. Se debe realizar un reconocimiento en el que se reflejen datos objetivos, como:

- población de la aldea
- materiales localmente disponibles
- abastecimiento de mano de obra cualificada
- información logística
- etc.

Por otro lado, también son necesarios datos más subjetivos, como pueden ser:

- personas más influyentes en la comunidad
- reacciones y actitudes de aldeanos hacia el proyecto
- si éstos conocen el trabajo que hace falta y si lo harán
- cómo de verdaderas son las necesidades de la aldea y quién sale principalmente beneficiado
- etc.

Esta información se debe obtener del mayor número de habitantes posible para poder contrastar opiniones. Una vez se haya comprobado que la aldea apoya la instalación del proyecto, se debe proceder a la evaluación técnica y no antes. En conjunto, sólo se deberá proceder con la construcción del sistema si son viables ambos factores: los técnicos y los humanos.

2.4.1.1. ESTUDIO DE LA POBLACIÓN.

Es importante una medida precisa de la población ya que el número de habitantes determinará los requisitos del sistema. La población de una aldea, a efectos de un sistema de abastecimiento de agua por gravedad estará formado por toda aquella persona que vaya a depender de dicho sistema para su consumo de agua diario. Se debe incluir también a personas que, aunque no sean residentes habituales de la aldea vayan a estar empleando sus recursos de agua. Estas personas, aunque no son los usuarios más habituales, pueden

ser desde enfermos en puestos de salud hasta empleados del estado que trabajen en la comunidad.

Para mediciones de población se debe intentar obtener los datos más verídicos posibles. Existen tres métodos que han dado buenos resultados en el pasado:

- hacer un listado por escrito de todas las viviendas existentes y los que habitan en ellas
- ir por la aldea contando las casas individualmente y determinando los habitantes que hay en cada una de ellas
- para aldeas muy grandes, donde esto no es factible, el procedimiento es:
 - En cada punto de servicio, contar las casas que se van a abastecer.
 - Hacer reconocimiento personalmente de unas 10 ó 12 de estas viviendas y determinar la media de habitantes que viven en ellas.
 - Aplicar esta media para determinar el número de personas a abastecer en este punto de servicio.
 - Calcular con estos datos el total de población abastecida por todos los puntos de servicio.

Evidentemente, las mediciones serán tanto más precisas cuanto mayor sea la muestra analizada.

2.4.1.2. MOTIVACIÓN.

El entusiasmo y la motivación para la construcción del proyecto es muy importante. Son parámetros difíciles de medir y para ello uno debe hablar con los aldeanos, examinar esfuerzos realizados en construcciones comunitarias del pasado, inspeccionar las condiciones de los caminos y viviendas, de zonas públicas, etc., para ver en qué medida se lleva a cabo un mantenimiento eficiente, hablar con autoridades locales, etc. Una buena manera de deducir la posible motivación de la población para construir y mantener un sistema de abastecimiento de agua es inspeccionar las fuentes de agua vigentes. Vendrá dada en función de la distancia media a la que se encuentren los habitantes y de la necesidad real que tienen de un nuevo sistema de abastecimiento de agua.

A pesar de ser técnicamente muy viable un proyecto, sólo perdurará en el tiempo si la comunidad muestra el interés necesario.

2.4.1.3. ESTUDIO DE LAS FUENTES DE AGUA.

El empleo de una determinada fuente de agua no se debe basar a priori en la disponibilidad de esta, en que sea la más cómoda de usar o la más cercana sino que, debe ser más bien una fuente que aporte el agua más limpia de la zona, aunque quede más lejos, ya que, a día de hoy, realmente no se emplean técnicas de tratamiento de aguas en las pequeñas aldeas. Se deben investigar todas las fuentes de agua y no sólo las mencionadas por la gente de

la aldea. Se debe determinar la cantidad y calidad del agua, qué procedimiento se empleará para captarla y cuál es la situación legal de la fuente de agua. Antes de comenzar con este estudio de las fuentes, se debe haber terminado con el estudio de población de tal manera que se conozca la cantidad de agua que se va a necesitar.

2.4.1.3.1. PRINCIPALES TIPOS DE FUENTES.

- Manantiales:

Los manantiales son puntos donde el agua surge a la superficie desde una fuente subterránea. Normalmente suelen tener un flujo de alrededor de 2 litros/segundo, aunque pueden ser más abundantes. El flujo de un manantial depende de varios factores: el área de recolección de agua, la velocidad con la que el agua se filtra a través de la tierra, el espesor del terreno encima del acuífero y la capacidad de retención y almacenamiento de la tierra. El flujo de agua ofrecido por un manantial fluctúa dependiendo de la estación del año en la que nos encontremos. En época seca disminuye hasta secarse en ocasiones y en época de lluvias encontramos los caudales más abundantes. Cuando el agua se filtra por la tierra, se purifica, eliminándose los microorganismos patógenos que se puedan encontrar en ella. Solamente en los casos en los que el agua se filtra por rocas desde la superficie es cuando puede aún permanecer algo contaminada. Puede darse el caso de que no se trate de un manantial sino de un arroyo o riachuelo que se haya metido debajo de la tierra una distancia y esté emergiendo más abajo. Analizar los alrededores del supuesto manantial nos ayudará a saber con qué tipo nos hemos encontrado.

- Arroyos:

Son fuentes de agua no tan deseables, especialmente cuando corriente arriba existen poblaciones humanas o zonas de pastoreo de ganado. De todas maneras, en ocasiones las necesidades de la aldea no se pueden satisfacer por otros medios y no queda más remedio que emplearlo. También es una fuente de agua que cambia notablemente con la época del año en la que nos encontremos. Es muy útil preguntar a los aldeanos a cerca de los niveles que llega a alcanzar el riachuelo o arroyo en temporada de lluvias.

- Grandes corrientes y ríos:

Son las fuentes menos deseables pues es seguro que van a ser las más contaminadas. La única ventaja es que es la mejor fuente para el empleo de arietes hidráulicos, en los casos en los que se deba abastecer a poblaciones que se encuentran a mayor altitud y donde otra fuente de agua es inexistente.

2.4.1.3.2. CANTIDAD DE AGUA.

Es fundamental medir el flujo de agua que ofrece cada fuente para saber si vamos a tener suficiente agua como para abastecer a la aldea entera. En primer lugar, medimos el caudal de agua. Dependiendo del tipo de fuente en la que estemos trabajando, emplearemos un método u otro.

- Contenedor y cronómetro:

Se toma un contenedor que pueda llenarse fácilmente de agua, con capacidad de 10 a 20 litros, como pueda ser un cubo o una tinaja. A continuación, se coloca en el flujo de agua de tal manera que en el instante en que el contenedor se comience a llenar, se ha activado un cronómetro. En el momento en el que el contenedor, de volumen conocido, se haya llenado, paramos el tiempo. Repetimos este procedimiento al menos cinco veces, calculamos la media aritmética, descartamos algún dato que claramente sea atípico y anotamos los resultados. El caudal de agua se expresa como:

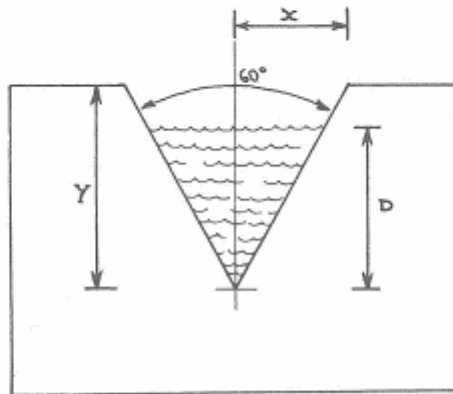
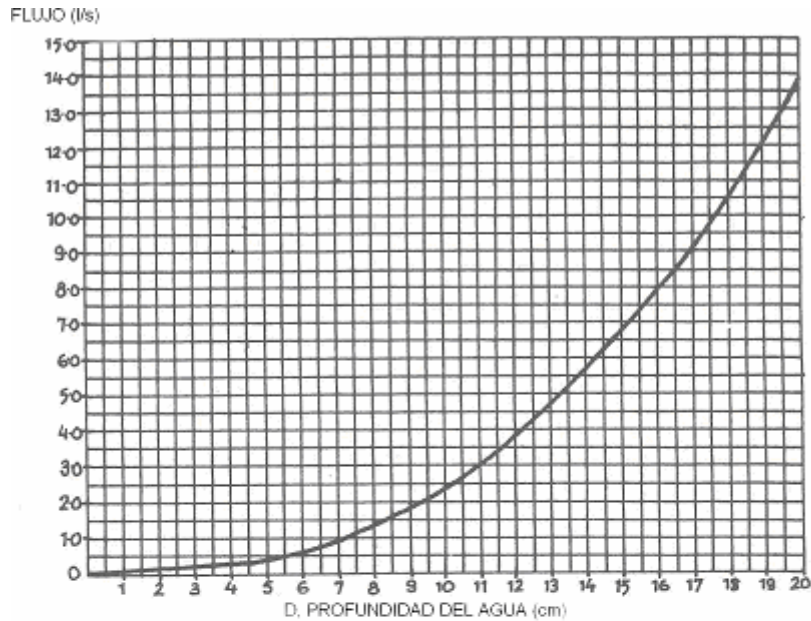
$$Q = \frac{v}{t}$$

siendo Q el caudal [l/s], v el volumen del contenedor [l] y t el tiempo que se tarda en llenarlo [s].

Esta medición se debe realizar en la temporada seca, cuando el flujo es el mínimo de todo el año. De esta manera se diseña por defecto, en el peor de los casos. Si acaso se mide en temporada de lluvias, la cantidad de agua que habría en época seca se puede estimar entre un 50% y un 70% menos, aunque también es algo que convendría preguntar a los aldeanos.

- Recipiente abierto en “V”:

Este método es el que se emplea en casos de manantiales más grandes o de arroyos. El embalse tiene un ángulo de apertura de 60° y apto para medir flujos típicos en arroyos y riachuelos. Se puede construir fácilmente a partir de una plancha de madera o de una lámina de metal. El recipiente se coloca en la dirección de la corriente, en una zona que despejamos, de tal manera que todo el agua pase por la apertura. En la figura de la página siguiente se presenta un corte transversal. Debe existir al menos dos metros de canal por donde circula el agua antes de pasar por el embalse. El caudal se calcula a partir de medir la profundidad del agua que pasa por el embalse, con ayuda de la gráfica incluida a continuación, que también refleja las dimensiones del embalse.



$$\frac{X}{Y} = \frac{1}{1.73}$$

Figura 10. Recipiente abierto en “V” y gráfica de flujo.

- Método de área-velocidad:

Es un método que requiere más trabajo que el anterior y es, además, menos preciso. Se utiliza para fuentes de agua especialmente extensas es muy útil en el caso de un río ancho. Se mide la velocidad de superficie del agua cronometrando el tiempo que tarda un flotador en recorrer una determinada distancia. Dicha distancia debe ser de 6 a 10 veces la profundidad del río y debe carecer de obstáculos. Además, se debe medir el ancho del río en el lugar en el que estamos midiendo. Se repetirá la medición al menos 5 veces y se hallará la media, para mayor precisión en la medida. La velocidad del agua en la superficie es la máxima e irá disminuyendo a medida que las capas de agua estén a más profundidad. Teóricamente, la capa de agua más profunda, en contacto con el fondo, tiene velocidad nula. Por esta razón, se añade un coeficiente de corrección del 85% para homogeneizar la

velocidad de la corriente. Así que nos queda la siguiente expresión para el flujo:

$$Q = 0,85 \cdot v \cdot A \cdot 1000$$

donde Q es el caudal [l/s], v la velocidad del flotador [m/s] y A la sección media del río[m²]. Este método se emplea en ríos de al menos 30 cm de profundidad.

Una vez hayamos calculado el caudal que ofrece la fuente de agua en cuestión, sabremos si tenemos suficiente agua para abastecer a toda la aldea durante todo el año. A continuación, planteamos cuál es la cantidad de agua consumida por persona y día.

2.4.1.4. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE CONSUMO DOMÉSTICO DIARIAS.

Para obtener la cantidad de agua necesaria por persona y día en una aldea de ámbito rural, nos basamos en el estudio de Unai Tomillo Gutiérrez, citado anteriormente en la página 43. En él se analizan las distintas cantidades de agua dentro del consumo doméstico de la misma que se consideran imprescindibles para asegurar la salud pública de sus usuarios. Se delimitan cuáles son los hábitos diarios valorados como fundamentales y se plantean qué cantidades de agua se requieren teniendo en cuenta condiciones tales como los hábitos culturales, el clima de las diferentes zonas a lo largo del año o la edad, el género o peso de los consumidores. El objetivo final es, pues, encontrar un volumen genérico de agua que nos sirva de referencia a la hora de tener un patrón de cálculo que nos permita estimar cuál es la demanda real para el abastecimiento de agua en poblaciones rurales.

Las conclusiones obtenidas por este estudio son las siguientes: El **consumo directo** de agua diario supone acceder al menos a 5,5l , llegando así a cubrir las exigencias más extremas. En cuanto a la cantidad de agua necesaria para la preparación de comidas, considerada fundamental, se ha considerado necesarios 2 litros al día. El agua imprescindible para asegurar una higiene adecuada también se ha considerado indispensable. Esta cantidad de agua está directamente relacionada con la distancia a la fuente.

A partir de estas tres consideraciones y contrastando las cantidades respectivas con los datos facilitados por las Naciones Unidas, el Banco Mundial o la Organización Mundial de la Salud, se valoró como imprescindible asegurar la accesibilidad de al menos 50l de agua por persona y día, aunque las cantidades aconsejables se encuentren más entre 75 y 100 litros de agua por persona y día. Si la fuente de agua se encuentra a más de cinco minutos de distancia de los domicilios de los consumidores, es fundamental que nunca se encuentre por encima de los 30 minutos, de tal manera que se pueda asegurar al menos los 20 litros de agua al día.

A continuación se incluye una gráfica en la que se representan los resultados comentados.

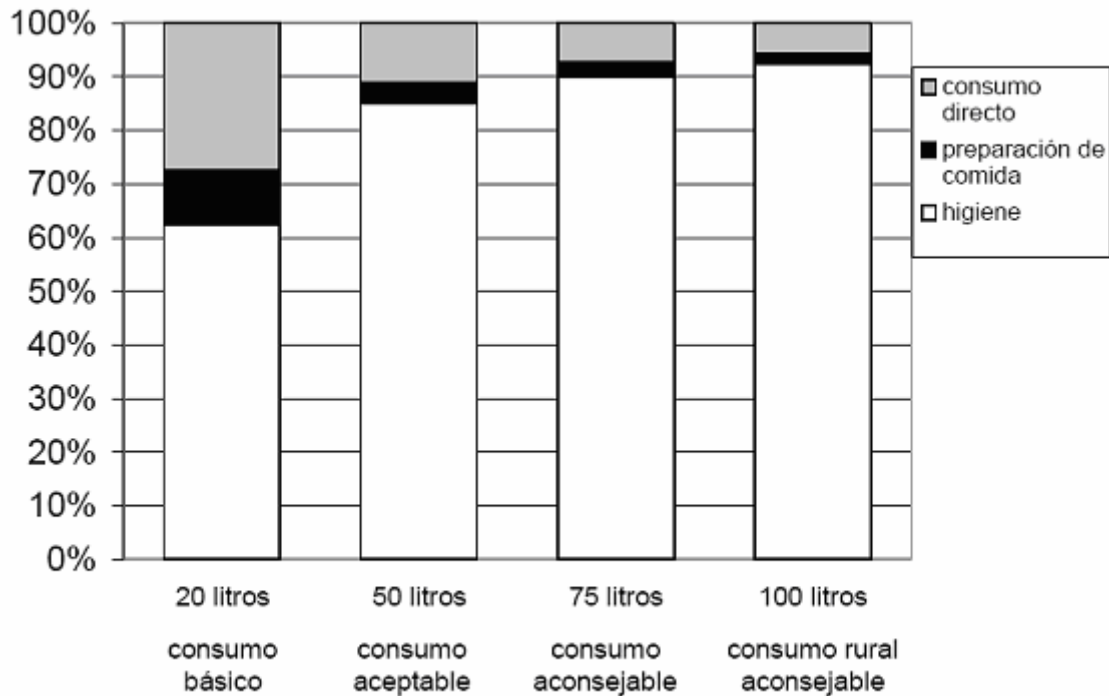


Figura 11. Necesidades diarias de agua por persona.

Así pues, para nuestro trabajo, tomaremos que la cantidad de agua necesaria por persona y día será de 80 litros.

El cálculo que se desarrolla para ver si nuestra fuente de agua será válida para la población en cuestión es el siguiente. Calculamos el número de habitantes de la comunidad y los multiplicamos por 80, obteniendo así la cantidad de litros que necesitará la comunidad entera en un día. A continuación, cambiamos las unidades de tiempo y pasamos de días a segundos. Al número de habitantes actuales le incluimos un coeficiente que refleja el crecimiento de población. Dependiendo del tipo de población, este factor de crecimiento variará. En Guatemala, para las zonas rurales, tomaremos el 3% anual. Los sistemas se dimensionan para perdurar durante 20 años lo que implica que, al 3% acumulativo anual, la población prácticamente se duplicará en ese tiempo. Así, nos queda:

$$Q_{necesario} = N^{\circ} \text{ habitantes} \cdot X_{\text{factor crecimiento}} \cdot 80(l / \text{persona} \cdot \text{día}) \cdot \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)$$

De esta manera las dimensiones que se obtienen son: $[Q_{necesario}] = \left[\frac{\text{litros}}{\text{segundo}} \right]$

Comparamos dicho caudal con el que hemos obtenido de la fuente. Si

$$Q_{\text{fuente}} > Q_{\text{necesario}}$$

existirá suficiente agua como para abastecer a toda la población.

2.4.1.5. CALIDAD DEL AGUA.

Una vez calculado el flujo de agua disponible, se procede a analizar la calidad de dicha agua.

Los principales tipos de contaminación que se pueden encontrar en el agua en las zonas rurales son restos de fertilizantes y pesticidas y presencia de microorganismos patógenos. Para comprobar si existe alguno de estos elementos, se llevan a cabo los siguientes análisis:

- **Estudio de la presencia de NOx:**

Esta prueba es la que detectará óxidos de nitrógeno en el agua provenientes de fertilizantes y pesticidas. Se introduce una tira especial de papel que actúa de indicador de NOx. Si sumergimos dicho indicador en el agua a analizar, éste cambia de color (se vuelve rojizo) si hay presencia de NOx. Se compara el color obtenido con una tabla de referencia para conocer el intervalo de concentración en el que nos situamos. Si el color se modifica, por poco que sea el cambio, supondrá que la fuente de agua analizada es problemática. Se procederá a un estudio que desvele el origen del NOx y se intentará eliminar su presencia en el agua. Si no, la fuente puede quedar descartada para consumo humano. Si el indicador no cambia de color significa que no hay NOx en el agua.

- **Estudio de la presencia de microorganismos patógenos:**

Para ello, se pueden emplear bolsas del tipo “whirl-pak”, esterilizadas mediante óxido de etileno. Las bolsas, que vienen cerradas de fábrica, se abren en el lugar de análisis y se llenan con 100ml de agua que queremos estudiar. Se cierra con cuidado de que no se salga el agua y se guarda en un lugar apartado de la luz durante 24 horas. En la bolsa hay una pastilla de tiosulfato de sodio, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, que tendrá la función de neutralizar el cloro que posiblemente tenga el agua cuando se recolecta. Además, se le añade una sustancia en polvo que tiene dos funciones: una es la de indicador de excrementos de los microorganismos, que tienen base de azufre (si se detectan excrementos es porque el agua contiene microorganismos) y la otra es de servir de alimento a estos microorganismos, de tal manera que su crecimiento se acelere para que en las 24 horas se puedan apreciar los resultados. Si a las 24 horas encontramos que el agua se ha vuelto negra o que tiene bastantes partículas negras en suspensión, significará que la concentración de elementos patógenos en el agua es elevada. Si no, nuestro agua estará limpia

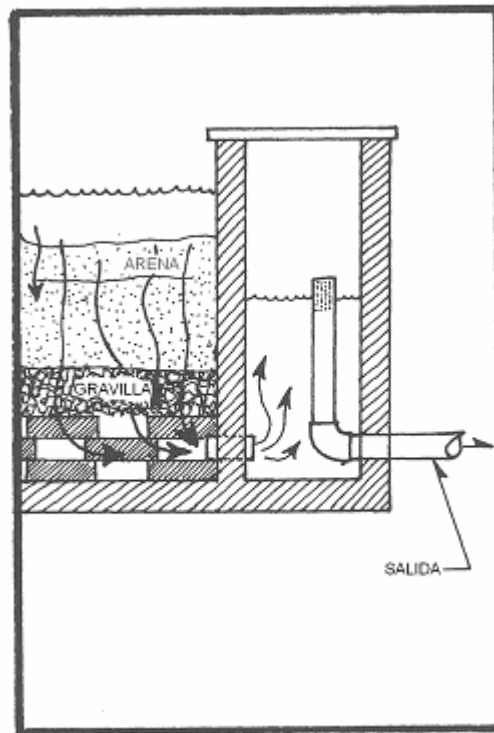


Figura 13. Filtro lento por arena.

- Aireado:

Este proceso consiste en el mezclado del agua con el aire, de manera que se consiga su oxigenación. El agua, de esta manera, pierde acidez (debida al dióxido de carbono que puede estar disuelto en ella) y reduce sabores y colores no deseados debidos a la presencia de hierro o gases disueltos en el agua. El método más sencillo de aireación consiste en construir una especie de torre como se observa en la siguiente figura, que tenga en su interior tablas de madera o de plástico que sirvan para romper la caída del agua. Con lo cual, al estar mayor superficie de agua en contacto con el aire, ésta absorbe mayor cantidad de oxígeno.

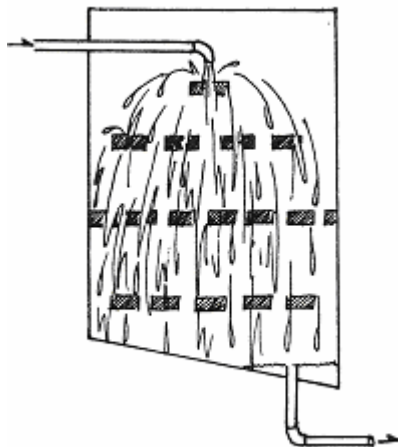


Figura 14. Torre de aireación.

2.4.1.7. LEGALIDAD DE LAS FUENTES.

Por último, el aspecto final que se investigue a cerca de las fuentes de agua es su legalidad. Deben estar claros los derechos de los usuarios a emplear una determinada fuente de agua. Aunque no sea la responsabilidad del ingeniero resolver posibles problemas de este tipo, sí se debe asegurar de que todas las disputas o problemas se han solucionado satisfactoriamente. Si tales problemas no se pueden resolver, se deben contemplar otras posibles fuentes de agua. En el pasado, se han dado casos en los que algunos proyectos han sido saboteados intencionadamente por miembros de la comunidad que han considerado que no se les estaba considerando justamente. Esto conlleva, evidentemente a una tensión interna en la comunidad y a una pérdida de tiempo y de materiales con el consiguiente costo.

2.4.1.8. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

En esta sección se pretende presentar los diferentes métodos para llevar a cabo un estudio topográfico a lo largo de una ruta propuesta para el paso de las tuberías del sistema de abastecimiento de agua. Se plantean el reconocimiento del terreno por medio de un teodolito, por medio de un altímetro barométrico y por medio de un nivel de Abney, siendo éste último en el que más profundizaremos, ya que es el más simple y más extendido en este tipo de construcciones de sistemas de abastecimiento de agua por gravedad.

- Reconocimiento del terreno por medio de un teodolito:

El teodolito es un instrumento de alta precisión y requiere un periodo de aprendizaje para conocer su manejo. Para este método hacen falta dos personas: una que mire a través del teodolito la vara reglada sujeta por la otra. Aunque este método nos dé una precisión de centímetros, es un procedimiento relativamente lento. Además, normalmente no se requieren tales precisiones para todo el trazado de tubería sino solamente en partes muy específicas como puede ser para ubicar con exactitud una caja de rompedor.

- Reconocimiento del terreno por medio de un altímetro barométrico:

El altímetro barométrico nos da la altura en función de la presión atmosférica. A medida que la altitud aumenta, la densidad de aire disminuye y la presión atmosférica será menor. El altímetro nos relaciona presión-altura dando la elevación a la que nos encontramos. Este fenómeno se refleja en la siguiente ecuación:

$$P = P_{\text{referencia}} + \rho gh$$

donde P es la presión que buscamos, para una determinada altura, ρ es la densidad del fluido (aire, en este caso), g la gravedad terrestre y h la altura a la que nos encontramos. P_{ref} es simplemente una presión de referencia. En este caso sería cero si tomamos la referencia a nivel del mar. En el caso de un

depósito de agua, por ejemplo, la presión en un punto a profundidad h contemplaría la presión atmosférica como presión de referencia.

Los cambios meteorológicos conllevan cambios en la presión atmosférica. Para solventar este problema, el procedimiento de medición es el siguiente. Tres personas, cada uno con su propio altímetro, se juntan y calibran sus instrumentos a la misma altura y al mismo tiempo. Una de ellas se traslada al punto más bajo del sistema y otra se situará en el más alto. Permanecerán en sus puestos durante todo el estudio. A intervalos regulares, cada 15 ó 30 minutos, por ejemplo, anotarán la medición de altura que se lee en sus altímetros y la hora a la que se dio. La tercera persona recorre la línea por donde irá la tubería. Las distancias las medirá con ayuda de una cinta métrica y, a cada hito, anotará la altitud y la hora. Al finalizar, la verdadera altitud se puede ajustar por las lecturas de las tres personas. También se puede hacer lo mismo solo que con dos personas, una recorriendo la futura línea de tubería y la otra en un punto de altura media del recorrido. El problema es que este procedimiento pierde precisión.

Este tipo de reconocimiento topográfico es el más rápido de llevar a cabo. La precisión viene limitada por los propios altímetros. Este método es empleado en ocasiones como estudio preliminar, para dar una buena idea de la situación en la que nos encontramos, que luego se detallará con estudios posteriores.

- Reconocimiento del terreno por medio de un nivel de Abney:

Este método es más rápido que el del uso de teodolito y ofrece una precisión aceptable para la construcción de este tipo de sistemas.

El nivel de Abney es básicamente un tubo cuadrado, de dimensiones aproximadas 16 x 1.5 x 1.5cm, con un visor del lado del observador y un hilo atravesando el tubo cuadrado por el lado del objetivo. Sobre una apertura que hay en el tubo, existe un nivel de burbuja con una marca en su centro. Este nivel de burbuja está fijado a un brazo móvil que se ajusta sobre una escala graduada (en grados generalmente, aunque puede ser en porcentajes u otras medidas) que normalmente es un arco de circunferencia.



Figura 15. Nivel de Abney

El método en sí se debe desarrollar entre dos personas mínimo, aunque mayor número puede ser muy útil, especialmente si se trata de terreno lleno de obstáculos como puede ser maleza que haya que retirar. El equipo que se necesita es el nivel Abney, una cinta métrica de 30 a 50 metros, un cuaderno para realizar las anotaciones y una brújula si se quieren recoger también datos de orientación. El reconocimiento se comienza en un punto marcado, característico, como puede ser el nacimiento de agua o un punto llamativo a lo largo del trazado de tubería. Desde dicho punto se procede hacia arriba y hacia abajo, a lo largo del camino donde se instalará la tubería. La técnica de medición es simple:

Un miembro del grupo mira a través del nivel Abney al objetivo que sujeta su compañero. Se mide la distancia sobre la tierra entre ellos. Esta distancia y el ángulo de inclinación medido con el nivel se apuntan en el cuaderno. Es muy importante que el objetivo que se enfoca y el nivel de Abney estén a la misma altura, que será preferiblemente la altura de los ojos del que está midiendo con el nivel. Se puede apreciar en la siguiente ilustración un ejemplo de medición con el nivel de Abney.

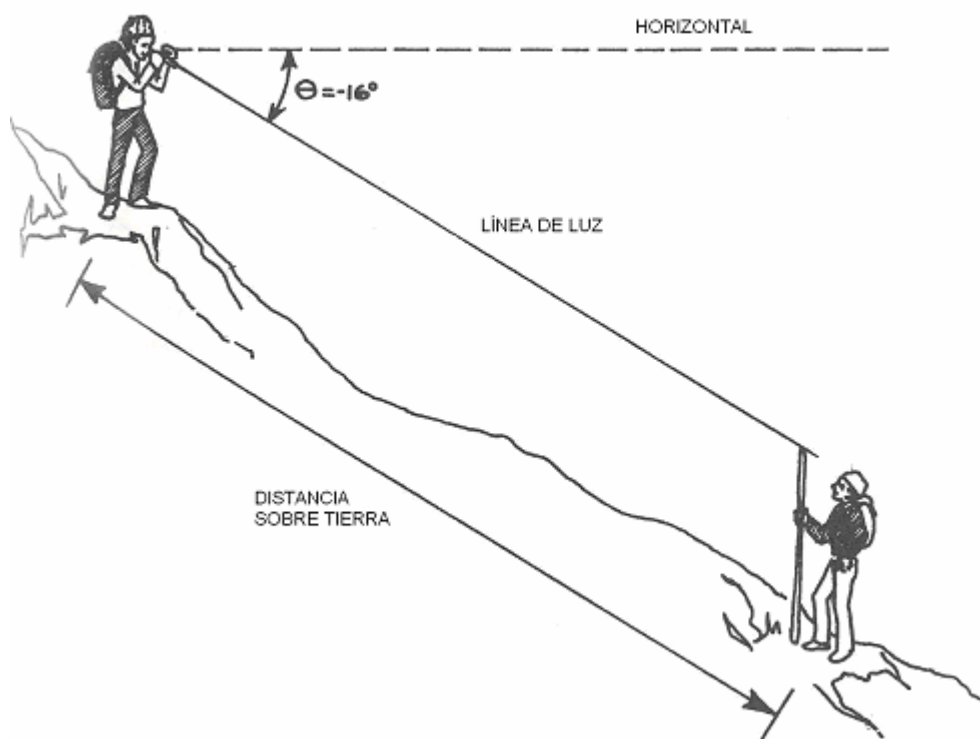


Figura 16. Estudio topográfico con nivel de Abney.

Un ángulo negativo indica que en ese sentido nos dirigimos cuesta abajo. De una medición se deduce la distancia real de un punto a otro (sobre terreno) el ángulo de inclinación entre puntos, la distancia proyectada (ideal para trazar un plano en dos dimensiones) y la diferencia de alturas (a través del seno de la inclinación).

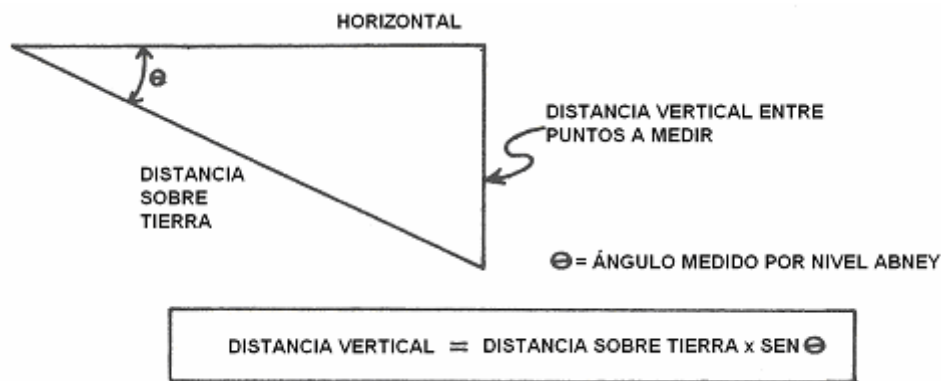


Figura 17. Esquema de medición con nivel Abney.

A medida que se van tomando datos, se debe tener en cuenta que el terreno que se está recorriendo es sobre el que habrá que cavar una zanja más adelante para enterrar la tubería. Por eso, se debe anotar qué tipo de terreno se está atravesando (jungla, terreno cultivado, caminos, etc.) al igual de la composición del suelo (arena, gravilla, roca, etc.). Se deben hacer el máximo número de anotaciones que recojan hitos naturales y/o artificiales permanentes o semi-permanentes (árboles destacados, viviendas, peñas rocosas, etc.). Esto ayudará tremendamente a ubicarse en el caso de que se deba volver al terreno a un punto determinado. En ocasiones, si se dispone de un tercer miembro en el equipo de medición, se emplea para corroborar los datos medidos. El miembro que mide con el nivel se encuentra entre medias de los otros dos. De estos, el de atrás se encuentra en el punto desde el que se acaba de medir y el de adelante se encuentra en el que se está midiendo. El que maneja el nivel de Abney, desde donde se encuentra, debe medir el nuevo punto hacia delante pero debe corroborar que el ángulo de inclinación hasta el punto anterior es exactamente igual y de signo contrario al que midió desde dicho punto. Como lo normal es que no coincidan exactamente, se suele hacer una media aritmética de las inclinaciones para obtener la que se empleará (con su respectivo signo). En cualquier caso, no debe haber más de un 6% de discrepancia entre mediciones de un mismo punto.

La precisión del nivel de Abney, al ser un aparato analógico, es la mitad de la división más pequeña que aparezca en la escala de medidas. Las precisiones estándar de las siguientes magnitudes son:

- ángulo de desnivel: $\pm 0,5^\circ$
- distancias reales sobre terreno: $\pm 0,1\text{m}$
- elevaciones calculadas: $\pm 0,3\text{m}$ si se es extremadamente meticuloso o $\pm 0,5\text{m}$ para mediciones normales.

2.5. TIPOS DE SISTEMAS.

Ya tenemos realizado el estudio de población, el de las fuentes y el topográfico. Ahora, en este apartado, vamos a plantear una clasificación general de los distintos tipos de sistemas de abastecimiento de agua por

gravedad que podemos construir. La primera gran clasificación que podremos hacer será diferenciando sistemas abiertos de sistemas cerrados.

2.5.1. SISTEMAS ABIERTOS.

Los puntos de servicio de agua pueden permanecer abiertos todo el tiempo y se suministrará aún así un flujo constante de agua a todos estos puntos de servicio. Es decir, que el caudal que se tiene es suficiente como para abastecer a todos los puntos de servicio constantemente, sin necesidad de un tanque de distribución o depósitos de reserva.

2.5.2. SISTEMAS CERRADOS.

En ellos, el caudal de agua disponible no es suficiente para abastecer simultáneamente todos los puntos de servicio o plantea carencias en las horas punta de consumo, con lo que se hace necesario el uso de un tanque de distribución. Todos los puntos de servicio del sistema deben contar con un sistema de cierre, como puede ser un grifo.

2.5.3. SUBDIVISIONES DE SISTEMAS.

Partiendo de estas dos categorías se pueden construir cinco tipos de sistemas.

2.5.3.1. SISTEMA ABIERTO SIN GRIFOS DE CIERRE:

En este sistema, el flujo de agua es continuo. Está saliendo las 24 horas del día. La ventaja de este sistema es que no existen grifos que se puedan dañar por uso o abuso, ni que se puedan romper o ser robados. La desventaja principal es que una gran cantidad de agua se desperdicia. Este problema se puede solventar colocando estratégicamente dichos puntos de servicio tal que el exceso de agua se destine a la irrigación de campos de cultivo adyacentes o bien se construyan buenos sistemas de drenaje que eviten la acumulación de agua en una sola zona y, consecuentemente, los problemas derivados de este cúmulo de agua no empleada.

2.5.3.2. SISTEMA ABIERTO CON GRIFOS DE CIERRE:

En este sistema, el problema de la gran cantidad de agua que no se utiliza y que se puede acumular en los entornos de los puntos de servicio se solventa con la instalación de grifos que corten el paso al agua. Lo único que hay que tener en cuenta es que el agua que ahora no se utilice se desbordará en el punto más bajo de rompe-presión. Con lo cual, habrá que acondicionar la zona para que esta agua sobrante no ocasione problemas. Las ventajas de este tipo de sistemas son que no se necesita depósito de reserva, se abastece suficientemente a la comunidad y el agua sobrante que rebosa supone un problema menor.

2.5.3.3. SISTEMA CERRADO CON DEPÓSITO DE RESERVA:

El depósito de reserva es necesario cuando la demanda punta de agua en la aldea no se puede cubrir únicamente con la fuente. El depósito de reserva acumula agua en momentos de bajo consumo, como por ejemplo por la noche y cubre con ese agua las demandas más exigentes, como por la mañana temprano. El depósito permite la obtención de agua en cualquier momento del día pero requiere la instalación de grifería y el buen mantenimiento de la instalación.

2.5.3.4. SISTEMA CERRADO CON SERVICIO INTERMITENTE:

En algunas situaciones, debido sobre todo a la topografía sobre la que se construye el sistema o a la manera en la que la fuente suministra su agua, se da la situación en la que se debe construir una caja de rompe-presión corriente abajo del depósito de reserva. Esta disposición hace que sea necesario un sistema de abastecimiento intermitente: esto es, salvo unas cuantas horas al día, el agua se corta desde el depósito de reserva para permitir que éste se llene. Si no se hace esto, el depósito nunca se llenará porque todo el agua sobrante se eliminará por el desagüe de la caja de rompe-presión situado más abajo. Este sistema es el menos indicado para construir. Se pueden dar problemas hidráulicos como la creación de bolsas de aire que compliquen el proceso de cierre y apertura del paso del agua en el sistema. Además, el uso continuado de la valvulería del sistema, sobre todo en el depósito de reserva, causaría su más rápido desgaste. El mantenimiento del sistema requeriría muchísima más atención. Por otro lado, como el paso de agua a los puntos de servicio sólo estaría abierto unas horas al día, el flujo de agua que será necesario durante estas horas será mayor, con lo que se necesitarán tuberías de mayor diámetro y, consecuentemente, más caras. Afortunadamente, si nos encontramos ante esta situación, se puede evitar la construcción de un sistema de abastecimiento de este tipo gracias al empleo de válvulas de flotador en las cajas de rompe-presión situadas por debajo del depósito de reserva.

2.5.3.5. SISTEMA CERRADO CON VÁLVULAS DE FLOTADOR:

Como se menciona en el apartado anterior, existen casos en los que se tienen que instalar cajas de rompe-presión más abajo que el tanque de reserva. La manera de ajustar el sistema para que funcione lo mejor posible es instalando válvulas de flotador en dichas cajas de rompe-presión. Estas válvulas ajustan automáticamente el caudal de agua en la tubería para que coincida exactamente con la demanda proveniente de cualquier punto de servicio. Cuando todos los puntos de servicio están cerrados, la caja de rompe-presión se llena de agua de tal manera que el flotador va subiendo gradualmente cerrando la válvula hasta que el caudal de agua se corta. Esto permite que el depósito de reserva más arriba se consiga llenar. El funcionamiento de esta válvula de flotador es la misma que se encuentra en una cisterna doméstica estándar.

2.6 TEORÍA HIDRÁULICA.

Antes de proceder al dimensionado y la construcción del sistema, vamos a plasmar los fundamentos teóricos vigentes en un sistema de distribución y abastecimiento de agua por gravedad.

2.6.1 ENERGÍA.

Para imprimir movimiento al agua es necesario aplicarle una determinada energía. En un sistema de abastecimiento de agua por gravedad la fuente de dicha energía es, como su propio nombre apunta, la ejercida por el campo gravitatorio terrestre. La cantidad de dicha energía que posee el sistema está determinada por las elevaciones relativas entre todos los puntos del sistema. Una vez se haya construido, todos los puntos del sistema estarán fijados y no podrán moverse, con lo que las alturas relativas no variarán. Consecuentemente, para cualquier sistema, existe una cantidad fija, específica de energía gravitatoria disponible para poder mover el agua. Así pues, se buscará el diseño ideal del trazado de tuberías para poder transportar el agua a determinados flujos deseados a partir del manejo preciso de esta energía contemplando, por un lado, conservarla y, por otro, disiparla por medio de las pérdidas ocasionadas por fricción. Esto se hará seleccionando el tamaño y tipo de tubería, el emplazamiento estratégico de válvulas de control, tanques rompe-presión, tanques de distribución, etc.

2.6.2. HIDROSTÁTICA.

La hidrostática es la parte de la Hidráulica que estudia los líquidos en reposo. Nosotros, en este apartado, sólo destacamos el caso en el que el agua está en reposo en una tubería que pertenece a un sistema de abastecimiento de agua. En dicho caso, el sistema está en equilibrio estático y las presiones que se miden son iguales en cualquier punto. Es decir, que si en cualquier punto del sistema insertamos un tubo piezométrico, la columna de agua que ascendería por dicho tubo se elevaría hasta justamente la línea de carga estática del sistema, o lo que es lo mismo, hasta el nivel más alto del sistema, por ejemplo, el de la superficie libre de un depósito. A continuación, se incluye una representación gráfica de lo planteado.

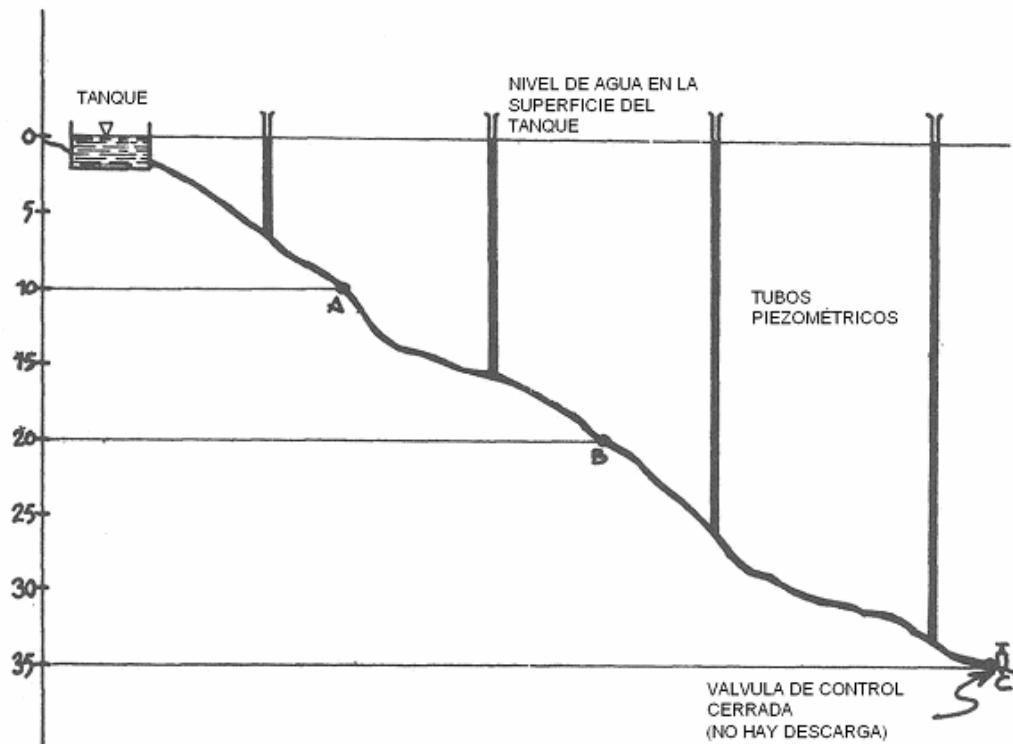


Figura 18. Equilibrio estático.

Puesto que no hay pérdidas de energía, la línea hidrostática se mantiene perfectamente horizontal.

- Carga hidrostática:

En hidráulica, por comodidad, las unidades que se suelen emplear para medir presiones, en vez de bares ($1 \text{ bar} \approx 1 \text{ kg/cm}^2$) son las equivalentes a la altura en metros de la columna de agua de superficie 1 cm^2 que ejercería dicha presión. Según la fórmula descrita en el apartado 2.4.1.8, $P = P_{\text{referencia}} + \rho gh$, si igualamos 1 kg/cm^2 a ρgh , con $\rho = 1000 \text{ kg/cm}^3$ y $g = 10 \text{ m/s}^2$, despejando la h deducimos que 1 kg/cm^2 es igual a 10 metros de presión (10 mca ó metros de columna de agua). Un caso en el que también se emplea mucho esta equivalencia es en la medición de presiones barométricas, con los milímetros de mercurio.

2.6.3. HIDRODINÁMICA.

Supongamos ahora que, en el caso anterior, se abre parcialmente la válvula de control en C, permitiendo que circule un pequeño caudal de agua (suponiendo que el tanque se rellena a la misma velocidad a la que va perdiendo el agua, de tal manera que el nivel de la superficie permanezca constante). Lo que se observará es que el nivel de las columnas de agua que hay dentro de los tubos piezométricos instalados a lo largo de la tubería va a decrecer un poco. A medida que la válvula de agua se abre poco a poco para permitir que circule un mayor caudal, los niveles de dichas columnas decrecerá aún más, como se puede apreciar en la siguiente figura.

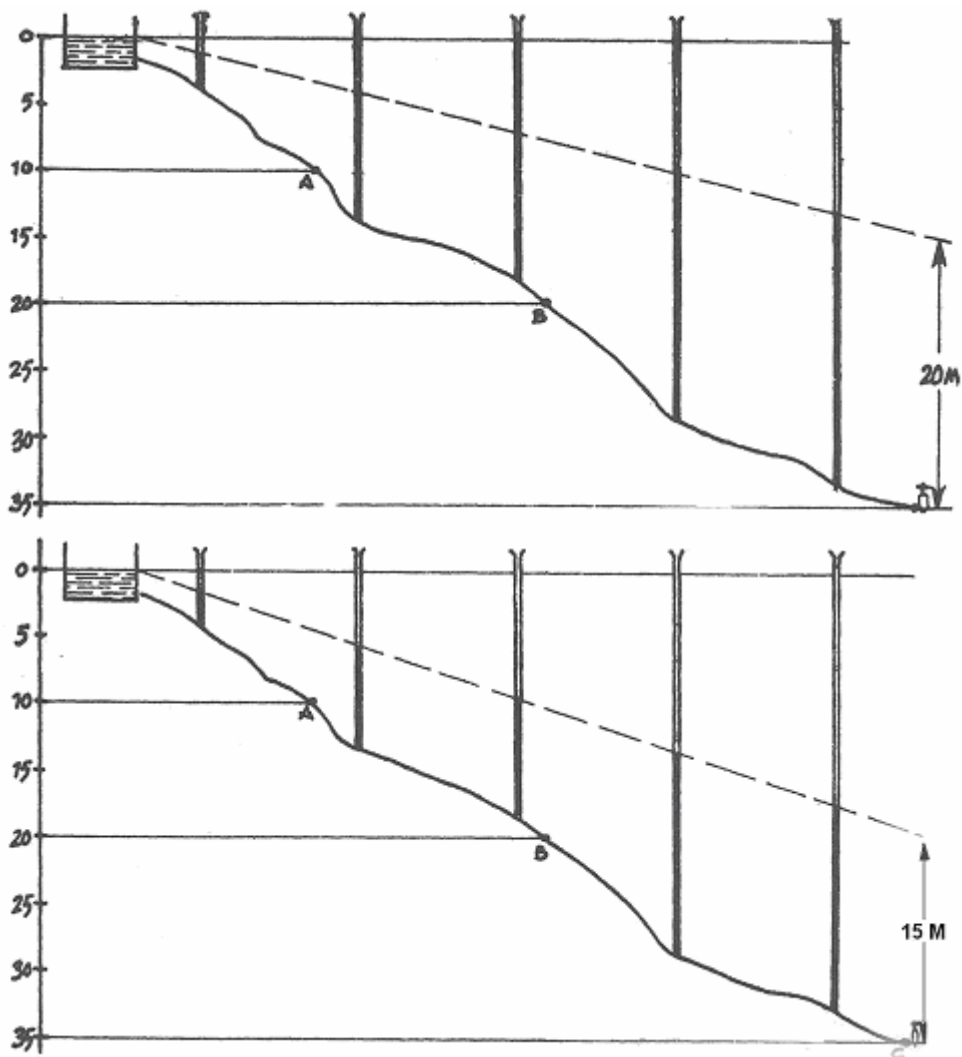


Figura 19. Equilibrio dinámico.

Se observa que las alturas de las columnas en los tubos forman una nueva línea (línea discontinua en el gráfico) con cada uno de los caudales que circulan por el sistema. Para un flujo constante, la línea formada por las distintas alturas permanecerá invariante. Esta condición se denomina de **equilibrio dinámico**. La línea formada por los niveles de las distintas columnas se denomina línea piezométrica o de gradiente hidráulico. Para cada flujo determinado existe una línea piezométrica correspondiente.

- Línea Piezométrica:

La línea piezométrica es una indicación de la energía presente en cada punto de la tubería. La distancia vertical desde la tubería a la línea piezométrica es la medida de carga hidrostática (ie. energía) y la diferencia entre la línea piezométrica y el nivel estático representa la carga hidrostática que se ha perdido por fricciones.

Puesto que la presión del agua en los interfaces agua/aire es la atmosférica (considerada como referencia cero), cada vez que nos

encontremos en un punto con estas características, la línea piezométrica deberá descender hasta el cero también.

La materialización de la línea piezométrica se podría conseguir en la realidad colocando tubitos derivados verticalmente en los puntos que se desee de la tubería (tubos piezométricos). Si se hiciera un pequeño orificio, el agua ascendería hasta alcanzar el nivel necesario y suficiente para equilibrar la presión que hay en cada punto de la tubería en donde se colocó el tubo piezométrico. Uniendo los puntos que ha alcanzado el agua en cada tubo piezométrico nos dará la línea piezométrica.

Debido a que la energía que se pierde por fricción no se recupera, la línea piezométrica siempre tendrá un sentido descendente en el sentido que sigue el agua. La pendiente de la línea piezométrica determina el ritmo al que se pierde carga hidrostática. En el caso ideal de que no hubiese pérdidas, la pendiente sería nula, es decir, la línea piezométrica sería una línea horizontal, aunque por razones prácticas la línea piezométrica se puede trazar como una línea horizontal en el caso de flujos muy reducidos en tuberías de diámetro grande (cuando la pérdida de carga estática es menor que 0,5 metros cada 100m de tubería).

Para el trazado de la línea piezométrica, se calculan las pérdidas de carga entre un punto y otro del sistema y se traza una recta que una las distintas cargas hidráulicas entre ellas.

Se suele calcular la línea piezométrica para dos casos: para cuando todos los puntos de servicio (ej. grifos) están abiertos y para cuando todos están cerrados. De esta manera sabremos cuáles son los puntos de máxima y mínima presión, de tal manera que podamos asegurar que estarán dentro de los límites permitidos.

2.6.4 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD Y TEOREMA DE BERNOULLI.

En este apartado exponemos la ecuación de continuidad y el teorema de Bernoulli aplicados a sistemas de abastecimiento de agua por gravedad puesto que ambos son clave para el entendimiento del funcionamiento y naturaleza de dichos sistemas.

2.6.4.1 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.

La ecuación de continuidad constituye la expresión analítica del principio de la conservación de masa, es decir, en el movimiento de un fluido su masa no sufre variación. Sean 1 y 2 dos secciones transversales de un tubo de corriente de áreas S_1 y S_2 .

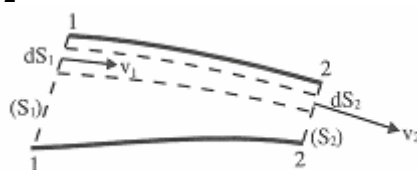


Figura 20. Sección transversal de un tubo.

En el interior de este tubo consideramos las líneas de corriente cuyas secciones transversales tienen por áreas dS_1 y dS_2 . En la sección 1 la velocidad normal a la sección transversal elemental dS_1 es v_1 y, análogamente, para S_2 será v_2 . El caudal máximo entrante por la sección dS_1 tiene que ser igual al saliente por la sección dS_2 , pues de lo contrario se produciría una variación de la masa fluida en el interior del elemento de corriente, lo cual es imposible en un movimiento permanente de un fluido incompresible, pues la densidad ρ es constante.

Por lo tanto:

$$\rho dQ_1 = \rho dQ_2$$

$$\rho v_1 dS_1 = \rho v_2 dS_2$$

Integrando para todo el tramo de tubo de corriente,

$$\iint_{S_1} v_1 \cdot dS_1 = \iint_{S_2} v_2 \cdot dS_2$$

obtenemos:

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = Q$$

donde v_1 y v_2 son las velocidades medias de las secciones 1 y 2 respectivamente.

La aplicación directa de la Ecuación de Continuidad es determinar los caudales mínimos y máximos deseados para cada diámetro de tubería. La velocidad máxima de flujo deseado se toma como 3m/s y la mínima 0,7m/s. Puesto que se conocen los diámetros de las tuberías y de ahí las secciones transversales, se podrá deducir cuál es el caudal necesario.

2.6.4.2. TEOREMA DE BERNOULLI.

En los sistemas de distribución de agua por gravedad se puede simplificar diciendo que la energía está presente de cuatro formas diferentes: como energía potencial, como presión, como velocidad y como fricción. La Ecuación de Bernoulli es simplemente una ecuación de energía que relaciona entre sí cada uno de estas formas de energía presentes en un fluido sometido a un campo gravitatorio.

2.6.4.2.1. ECUACIÓN DE BERNOULLI PARA EL CASO IDEAL.

En el caso ideal, se hace una simplificación de la realidad y no se consideran las pérdidas de energía debidas a la fricción.

La ecuación de Bernoulli para un flujo no estacionario sin fricción a lo largo de una línea de corriente es la siguiente:

$$\frac{\partial V}{\partial t} ds + \frac{dp}{\rho} + VdV + gdz = 0$$

Es una ecuación diferencial que puede ser integrada entre dos puntos 1 y 2 a lo largo de la línea de corriente, obteniendo:

$$\int_1^2 \frac{\partial V}{\partial t} ds + \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) + g(z_2 - z_1) = 0$$

En nuestro caso, consideraremos que los flujos son estacionarios, con lo que $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$ e incompresible ($\rho = cte$). Así que la ecuación quedar:

$$\boxed{\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}V_1^2 + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2}V_2^2 + gz_2 = cte}$$

Esta es la ecuación de Bernoulli para flujo estacionario incompresible y sin fricción a lo largo de una línea de corriente.

El resultado de este teorema es una relación matemática de las condiciones energéticas que definen una corriente permanente de un líquido perfecto; es decir, establece la relación y dependencia mutua entre:

- La altura de la molécula líquida sobre un cierto plano de comparación.
- La presión que actúa sobre esa misma molécula.
- La velocidad con la que circula.

Si una corriente de agua se mueve por causa de la gravedad como único motor y consideramos la energía por unidad de peso referida a un plano horizontal, dicha corriente es un sistema cerrado que ni toma ni cede energía por lo que:

Energía inicial = Energía en cualquier instante = constante

Cada valor puede variar de un punto a otro pero la suma total de todos los miembros permanecerá constante.

- Interpretación gráfica:

Una interpretación visual útil de la ecuación de Bernoulli se obtiene a partir de la siguiente representación gráfica. La línea de nivel energético (LNE) o línea de energía muestra la altura de la constante de Bernoulli. Esta línea, en un flujo sin fricción y sin adición de calor o de trabajo es una línea horizontal, de nivel constante. La línea de altura motriz (LAM) o línea piezométrica indica el nivel correspondiente a la altura geométrica más la presión $z + \frac{P}{\rho g}$, es decir, la

LNE menos la altura de velocidad $\frac{v^2}{2g}$. La LAM es la altura a la que subiría el líquido en un tubo piezométrico.

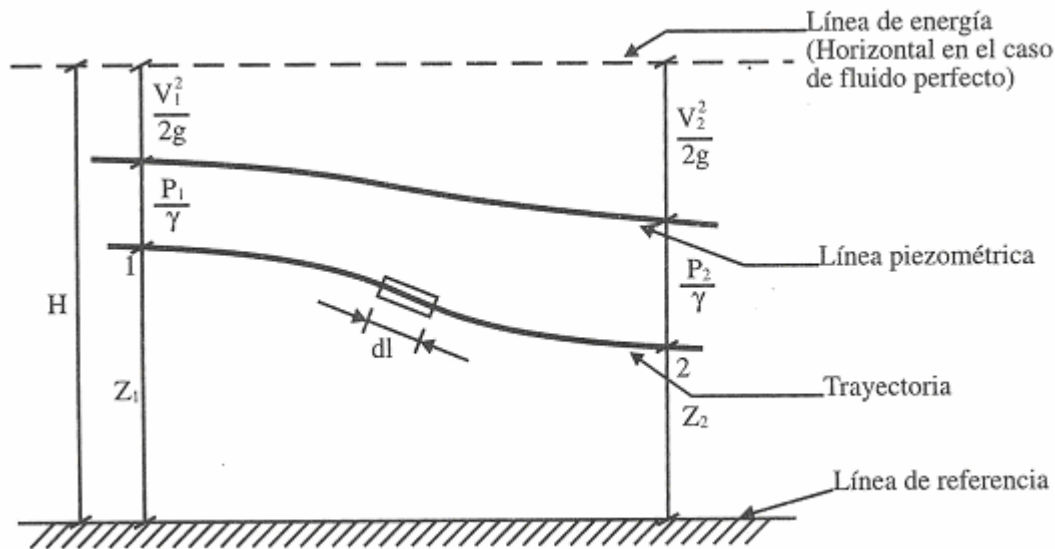


Figura 21. Representación gráfica de ecuación de Bernoulli.

Existen un par de simplificaciones aplicables a sistemas de abastecimiento de agua por gravedad:

- La velocidad de flujo máxima deseable no debería sobrepasar los 3m/s, lo cual genera una presión de 0,5 metros. Esta es una cantidad tan pequeña en comparación con las otras que es despreciable. Así que, en términos prácticos, la línea de nivel energético y la línea piezométrica son consideradas iguales.

- Por otro lado, como la presión atmosférica actúa en todos los puntos por igual, se puede cancelar entre sí, suprimiéndose de toda consideración.

Antes de pasar a desarrollar el teorema de Bernoulli generalizado, introducimos el concepto de pérdida de carga para entender mejor el caso real.

- Pérdidas de Carga:

La magnitud de energía perdida por fricción ocasionada por un obstáculo viene definida por diferentes factores. Los principales son la rugosidad del obstáculo y la velocidad del fluido. También influyen, aunque en mucha menor medida, la temperatura del agua, las partículas en suspensión, los gases disueltos en el agua, etc. Para una tubería determinada, cuanto mayor sea el caudal, mayor es la velocidad y mayor la pérdida por fricción (aunque las pérdidas por fricción en relación con la variación de caudal no son lineales). Lo mismo sucede cuanto mayor sea la rugosidad.

En los cálculos hidráulicos se consideran dos tipos de pérdidas de carga:

- Las debidas a lo largo de la conducción.
- Las producidas en las singularidades de las tuberías o piezas especiales tales como codos, curvas, tomas, coladores, etc.

Las pérdidas de carga se dividen en:

- **Pérdida de carga total**, que es la suma de todas las pérdidas de carga, medidas en metros (mca), que ha habido entre el origen de la conducción y el punto que se considera o entre dos puntos o secciones cualesquiera determinadas.
- **Pérdida de carga unitaria**, que es la relación entre la pérdida de carga total habida entre dos puntos y la longitud real existente entre los mismos puntos. Si en el tramo considerado hubieran singularidades se sumaría la pérdida que ellas originan, y se hablaría de pérdida de carga unitaria media.

$$J = \frac{\text{pérdida de carga total, en metros}}{\text{longitud real de conducción, en metros}} = \frac{\Delta H}{L}$$

Este coeficiente será pues la pérdida de carga en metros (mca) por cada metro de conducción.

2.6.4.2.2. ECUACIÓN DE BERNOULLI PARA EL CASO REAL.

Así pues, en el caso real, la diferencia está en que sí se contemplan las pérdidas de energía que sufre el sistema. Es decir, que la energía ya no se va a conservar puesto que parte de ella se pierde por fricción y turbulencia del agua. La Ecuación de Bernoulli queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}V_1^2 + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2}V_2^2 + gz_2 + \Delta H = cte$$

siendo ΔH el término que refleja las pérdidas de energía del punto 1 al punto 2. El término incluye las pérdidas de energía por fricción del agua con la tubería, las pérdidas de carga debidas al paso del agua por válvulas, codos, tes, etc. y las pérdidas ocasionadas por las turbulencias internas de las moléculas de agua unas contra otras.

De nuevo, además de las simplificaciones contempladas para el caso anterior, para un sistema de distribución de agua por gravedad con pérdidas, existe esta otra simplificación: las pérdidas de carga debido al paso del agua por singularidades en un tramo de tubería de más de 1000 diámetros de largo son despreciables. La energía correspondiente a la velocidad sigue siendo muy pequeña en comparación con las otras pero ahora la línea piezométrica se separa de la LNE debido a las pérdidas de carga por fricción. La nueva línea piezométrica tendría un aspecto más parecido al que se representa en el siguiente perfil hidráulico:

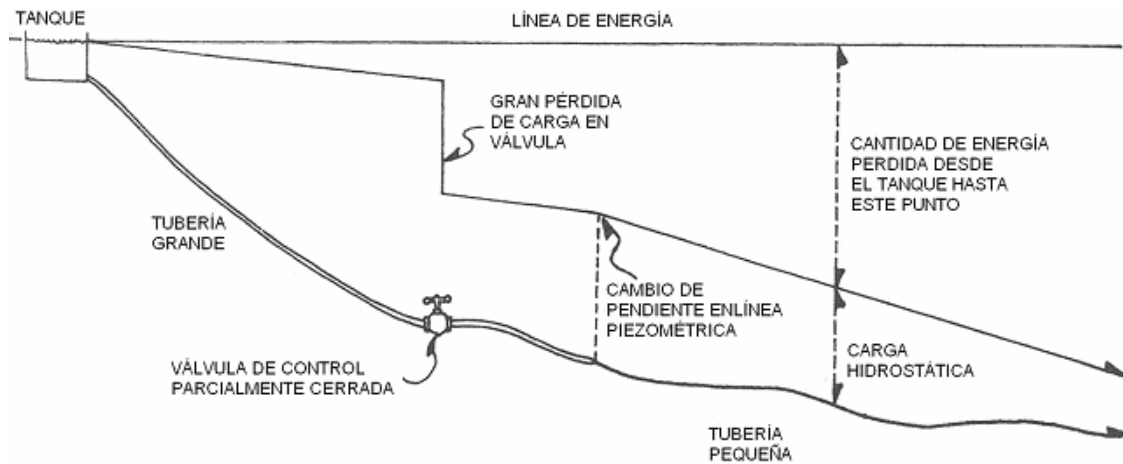


Figura 22. Efecto de pérdida de carga en conducto.

2.6.5. PERFIL HIDRÁULICO.

Como resumen, en todo perfil hidráulico se han de considerar los siguientes elementos fundamentales en la figura siguiente:

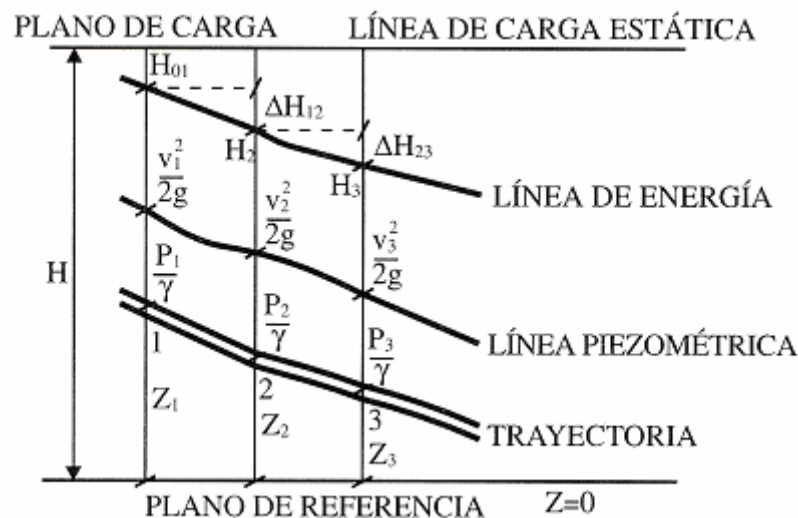


Figura 23. Perfil hidráulico.

- **Plano o línea de carga estática (LCE)**, que es el nivel de energía más alto de la tubería, o el nivel del depósito del cual parte. Esta línea es siempre horizontal y también se conoce como plano inicial o línea de carga inicial.
- **Línea piezométrica**, que es la línea ideal representativa de la altura de presión existente en cada punto de la conducción. Cuando la conducción es cerrada (tubería a presión) la línea piezométrica representa el nivel ficticio necesario para producir con su carga la presión existente en cada punto de la corriente. La línea piezométrica

se obtiene en este caso añadiendo en cada punto del eje de la tubería (eje hidráulico) una altura vertical equivalente al sumando $\frac{P}{\rho g}$

correspondiente a ese punto. La línea piezométrica nos mide la presión interna a que está sometida cada punto de la tubería.

- **Línea de energía o de alturas totales**, que es la línea ideal que representa el nivel de energía, es decir, el plano de carga particular que existe en cada punto. Se obtiene restando de la línea de carga estática el valor de todas las pérdidas de carga que haya debidas a todos los conceptos entre el origen y el punto considerado. Entre la línea piezométrica y la línea de energía existe, en cualquier punto, una distancia o altura vertical correspondiente a la velocidad con que fluye en ese punto el líquido en la conducción, es el sumando $\frac{v^2}{2g}$.

En régimen permanente, mientras se conserve constante la sección de tubería, las líneas piezométricas y de energía son paralelas porque las separa en todo momento la altura representativa de la velocidad, que es constante.

Cuando exista una singularidad en la que la sección permanezca constante (una curva, una válvula, etc.), ambas líneas bajarán bruscamente una altura igual equivalente a las pérdidas de carga, prácticamente instantánea, debida a la singularidad. Cuando la singularidad consiste en una disminución de sección, la línea piezométrica baja mucho más que la de energía, ya que esta última sólo ha bajado la altura correspondiente a la pérdida por la singularidad, mientras que la altura piezométrica ha tenido que bajar esa misma altura más la necesaria para incrementar la velocidad al valor mayor que tiene en la sección estrecha de aguas abajo.

Es también importante destacar que la línea de energía nunca puede subir por sus propios recursos.

2.6.6. FACTORES DE PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN.

Evidentemente, para diseñar correctamente el sistema, se debe poder determinar qué cantidad de energía se perderá por fricción desde el origen hasta que el agua llega a determinados puntos críticos del sistema. Para poder realizar fácilmente estos cálculos se emplean tablas en las que ya está calculada la pérdida para cada caso. El método más común es determinar la pérdida de carga por unidad de longitud de tubería, para un determinado flujo. Típicamente se suele expresar como “metros de pérdida por cada 100 metros de tubería”, o como “m/100m” o también como “%”.

Puesto que los coeficientes de pérdida de carga no son nunca exactos debido a que las pérdidas por fricción se ven influidas por muchos factores que puedan variar de sistema a sistema, se debe incluir siempre un coeficiente de seguridad a la hora de representar el perfil hidráulico.

En el apéndice 2 se incluyen los valores aproximados de pérdidas de carga de las tuberías más empleadas en sistemas de distribución de agua por gravedad, según las especificaciones de UNICEF. Factores menores que 0,20% se consideran despreciables. Se aportan valores hasta la velocidad de flujo máxima recomendada, que es 3m/s. Los factores que se corresponden a velocidades de flujo menores que 0,7m/s están señalizadas mediante un asterisco.

Las pérdidas de carga se suelen redondear al $\frac{1}{2}$ metro o incluso al metro más cercano. Por otro lado, las pérdidas debidas a singularidades (codos, válvulas, tes, etc.) se dan en longitudes de tubería equivalentes.

Todas estas tablas se han podido calcular gracias a trabajos experimentales desarrollados por diferentes autores. A continuación, se incluye una breve reseña teórica como referencia del origen de estos datos.

2.6.6.1. RUGOSIDAD ABSOLUTA Y RELATIVA DE LAS TUBERÍAS.

Todos los fenómenos de rozamiento de los fluidos al circular por una tubería dependerán, entre otros factores, de la rugosidad de las paredes del tubo. Las dimensiones de estas rugosidades resultan difíciles de definir y, más aún, de medir. Prácticamente es imposible tener en cuenta todos los factores de los que depende la rugosidad por lo que se acepta que la misma pueda expresarse por medio de una longitud k denominada **rugosidad absoluta** que puede interpretarse como la altura media de las irregularidades y se considera como representativa del conjunto de características geométricas de las irregularidades de la superficie.

Resulta más conveniente usar el valor de la **rugosidad relativa**, k/D para caracterizar el grado de rugosidad de un tubo. La rugosidad relativa es una rugosidad uniforme equivalente. En la tabla siguiente se incluyen los valores de rugosidad absoluta para diversos tipos de tubos.

Material y clase de tubo	Estado del tubo	Valor de k en mm.
Tubos de vidrio, cobre, latón, plomo, bronce y aluminio estirados.	Hidráulicamente liso	0 - 0,0015
Tubos de plástico	Nuevos	0,002 (P.E.) 0,02 (PVC)
Tubos de fibrocemento	Nuevos	0,025
Tubos de acero estirado	Nuevos	0,02 - 0,06
Tubos de acero soldados	Nuevos Ligeras incrustaciones Medianas incrusta Abundantes incrusta	0,04 - 0,1 0,15 - 0,4 1,5 2 - 4
Tubos de acero roblonado	Varios	0,9 - 9
Tubos de hierro fundido	Nuevos Oxidados Con incrust. (viejos)	0,25 - 0,5 1,0 - 1,5 1,5 - 3,0
Tubos de fundición asfaltada	Nuevos	0,10 - 0,12
Tubos de hierro galvanizado	Nuevos	0,15
Tubos de hormigón	Nuevos lisos Nuevos intermedios Nuevos rugosos Viejos	0,3 - 0,8 1,0 - 2,0 2,0 - 3,0 3,0 - 20,0

Figura 24. Tabla de valores de la rugosidad absoluta.

- Reseña teórica:

Aplicando la ecuación de Bernoulli (apartado 2.6.4.2.2.) entre dos secciones transversales 1 y 2 que distan L metros, tendremos, siendo J la pérdida de carga unitaria, que

$$J = \frac{1}{L} \left[\left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right) \right]$$

También se puede expresar J en función de la tensión tangencial en la pared como:

$$J = \frac{4\tau_0}{D\gamma}$$

Darcy-Weisbach propusieron, tras diferentes experiencias, la siguiente relación para la tensión tangencial:

$$\tau_0 = \lambda \left(R_e, \frac{k}{D} \right) \rho \frac{v^2}{2}$$

Es decir, que la tensión tangencial es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad media, a la densidad del líquido y a un coeficiente adimensional λ , llamado coeficiente de Darcy-Weisbach que, a su vez, es función del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad relativa (K/D), parámetros también adimensionales. Así pues, podemos expresar J como:

$$J = 4\lambda \left(R_e, \frac{k}{D} \right) \rho \frac{v^2}{2} \frac{1}{D\gamma} = 4\lambda \frac{1}{2g} \frac{v^2}{D}$$

Y llamando $f = 4\lambda$, nos queda:

$$J = \frac{f}{2g} \frac{v^2}{D}$$

Expresión de **Darcy-Weisbach** para el cálculo de la pérdida de carga continua, J, en tuberías circulares.

En régimen turbulento, cuando el número de Reynolds es muy alto su influencia es muy pequeña, resultando que f depende sólo de la rugosidad relativa k/D. En este caso, el coeficiente f toma los valores de la tabla incluida a continuación.

Tipo de tubo	Rugosidad (mm.)	f
Hierro fundido		
Incrustado	2,4 a 12	0,02 a 1,5
Revestido con asfalto	0,3 a 0,9	0,014 a 0,10
Revestido con cemento	0,05 a 0,15	0,012 a 0,06
Acero galvanizado		
Nuevo con costura	0,15 a 0,20	0,012 a 0,06
Nuevo sin costura	0,06 a 0,15	0,009 a 0,012
Concreto		
Moldeado en madera	0,2 a 0,4	0,012 a 0,080
Moldeado en hierro	0,06 a 0,2	0,009 a 0,06
Centrifugado	0,15 a 0,5	0,012 a 0,085
Asbesto		
Usado	0,6	0,10 a 0,115
Nuevo	0,05 a 0,1	0,009 a 0,058
PVC	0,015	0,009 a 0,050

Notas 1. Los valores más bajos de f se aplican a los diámetros mayores.
2. Para cálculos precisos, consultar tablas más completas.

Figura 25. Valores de f (Fórmula de Darcy-Weisbach).

La experiencia de Darcy-Weisbach suele expresarse en ocasiones en función del caudal, quedando:

$$J = \frac{f}{2g} \frac{16Q^2}{D^2\pi^2} L = \frac{8f}{\pi^2 g} \frac{Q^2}{D^5}$$

2.6.6.2. FÓRMULAS EXPERIMENTALES PARA EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN.

Entre las diferentes fórmulas experimentales y semiempíricas desarrolladas para determinar el valor del coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach vamos a mencionar la fórmula de transición de Colebrook y el diagrama de Moody, todas ellas para tuberías comerciales.

2.6.6.2.1. FÓRMULA DE TRANSICIÓN DE COLEBROOK PARA TUBERÍAS COMERCIALES.

Según Colebrook, para regímenes de transición entre el turbulento liso y el rugoso, en tuberías comerciales, el coeficiente f viene definido por la fórmula semiempírica:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{f}} + \frac{k}{3,71D} \right]$$

Empleando la expresión general de pérdida de carga $J = \frac{f}{2g} \frac{v^2}{D}$, y teniendo en cuenta que $Q = v \cdot S$, resulta que:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4 \cdot 10^6} \left[-2 \log \left(\frac{2,51 \cdot 10^6 v}{D \sqrt{2gJD}} + \frac{k}{3,71D} \right) \right] \sqrt{2gJD}$$

siendo:

Q = caudal en l/s

D = diámetro interior en mm

ν = viscosidad cinemática en m^2/s

J = pérdida de carga unitaria en m/Km

k = rugosidad media en mm

v = velocidad en m/s

2.6.6.2.2. DIAGRAMA DE MOODY PARA TUBERÍAS COMERCIALES.

Con el diagrama de Moody, que se basa en las fórmulas de Colebrook, podemos deducir el valor del coeficiente de fricción en función de Re y de k/D . El diagrama de Moody es aplicable a cualquier líquido en movimiento uniforme completamente desarrollado.

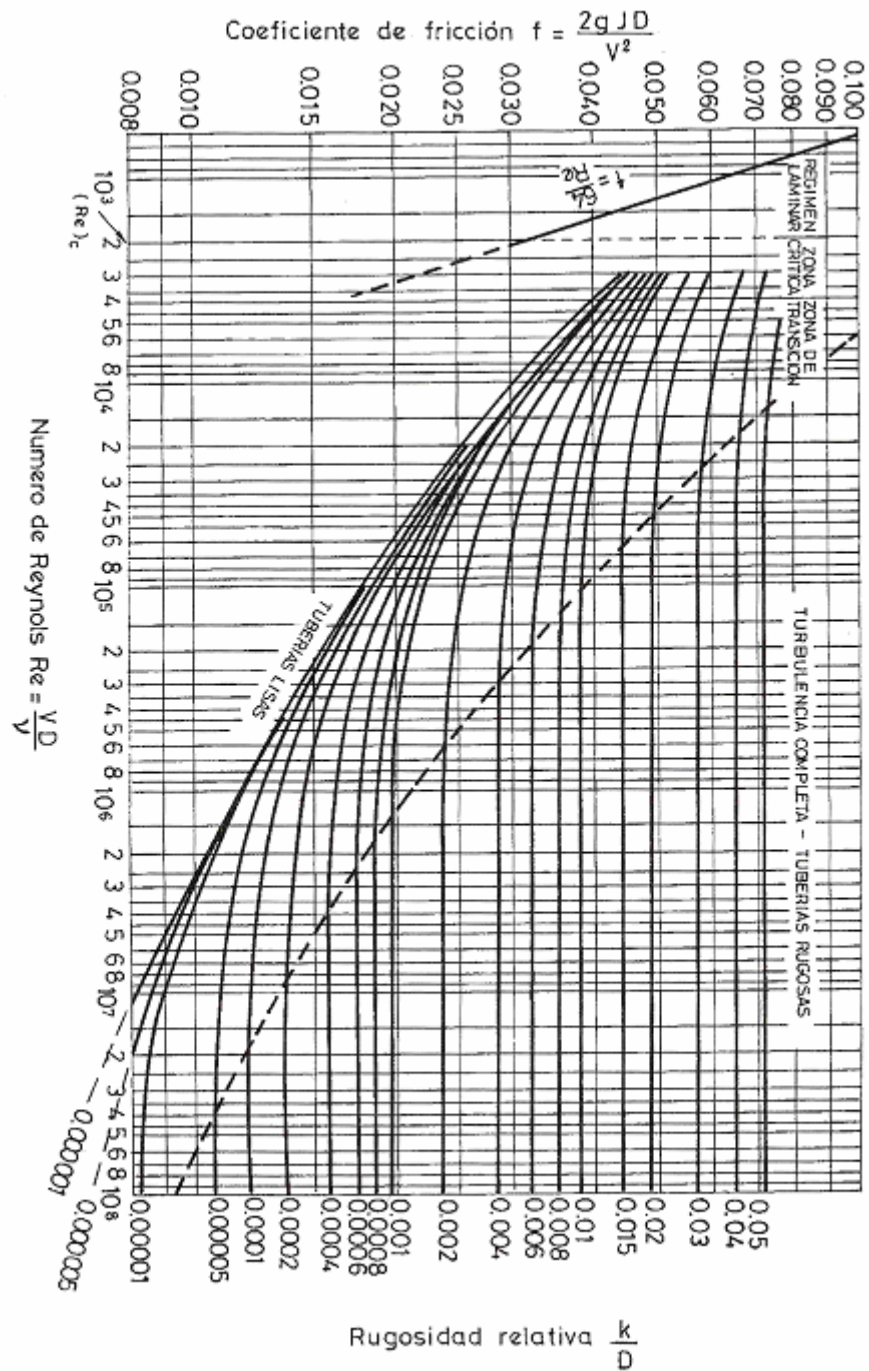


Figura 26. Diagrama de Moody.

También incluimos un resumen numérico del ábaco de Moody para el régimen turbulento liso, para el turbulento rugoso y para el turbulento de transición.

Régimen turbulento liso:												
Re	2.300	4.000	10 ⁴	2x10 ⁴	4x10 ⁴	10 ⁵	2x10 ⁵	4x10 ⁵	10 ⁶	2x10 ⁶	4x10 ⁶	10 ⁷
f	0,0473	0,0400	0,0309	0,0259	0,0220	0,0180	0,0156	0,0137	0,0117	0,0104	0,0093	0,0081
Régimen turbulento rugoso:												
D/k	10	20	30	40	60	100	200	300	400	500	10 ³	2x10 ³
f	0,1005	0,0715	0,0597	0,0529	0,0455	0,0380	0,0304	0,0269	0,0249	0,0234	0,0197	0,0167
Régimen turbulento transición:												
Re												
D/k	5-10 ³	10 ⁴	2-10 ⁴	3-10 ⁴	10 ⁵	2-10 ⁵	4-10 ⁵	10 ⁶	2-10 ⁶	3-10 ⁶	5x10 ⁶	10 ⁷
20	0,0758	0,0737	0,0726	0,0722	0,0717	0,0715	0,0715	0,0715	0,0715	0,0715	0,0715	0,0715
40	0,0592	0,0562	0,0547	0,0541	0,0534	0,0532	0,0531	0,0530	0,0530	0,0530	0,0530	0,0530
100	0,0472	0,0431	0,0407	0,0398	0,0385	0,0382	0,0380	0,0380	0,0380	0,0380	0,0380	0,0380
200	0,0426	0,0376	0,0344	0,0332	0,0314	0,0308	0,0306	0,0304	0,0304	0,0304	0,0304	0,0304
500	0,0396	0,0338	0,0298	0,0280	0,0251	0,0243	0,0239	0,0236	0,0236	0,0235	0,0234	0,0234
1.000	0,0385	0,0324	0,0279	0,0260	0,0222	0,0210	0,0204	0,0199	0,0199	0,0197	0,0197	0,0197
2.000	0,0379	0,0316	0,0269	0,0248	0,0203	0,0188	0,0179	0,0172	0,0172	0,0169	0,0167	0,0167
5.000	0,0376	0,0312	0,0263	0,0240	0,0190	0,0171	0,0158	0,0147	0,0147	0,0141	0,0138	0,0138
10.000	0,0375	0,0310	0,0261	0,0238	0,0185	0,0164	0,0148	0,0134	0,0134	0,0126	0,0122	0,0122
20.000	0,0375	0,0310	0,0260	0,0236	0,0183	0,0160	0,0143	0,0126	0,0126	0,0115	0,0109	0,0109
50.000	0,0374	0,0309	0,0260	0,0235	0,0181	0,0158	0,0140	0,0121	0,0121	0,0105	0,0096	0,0096
100.000	0,0374	0,0309	0,0259	0,0235	0,0180	0,0157	0,0138	0,0119	0,0119	0,0102	0,0090	0,0090
200.000	0,0374	0,0309	0,0259	0,0235	0,0180	0,0157	0,0138	0,0118	0,0118	0,0100	0,0086	0,0086
1.000.000	0,0374	0,0309	0,0259	0,0235	0,0180	0,0156	0,0137	0,0117	0,0117	0,0098	0,0082	0,0082

Figura 27. Tabla de valores para el coeficiente de rozamiento.

En el Apéndice 2 se incluyen tablas que aportan los coeficientes necesarios para la aplicación de la fórmula de Darcy.

2.6.6.3. FÓRMULAS PRÁCTICAS PARA EL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUAS.

Para calcular las pérdidas de carga debidas al rozamiento continuo, resulta imprescindible definir previamente el tipo de flujo que se produce en la tubería en las condiciones del problema que tratamos de resolver. Para

clasificar acertadamente el tipo de flujo que se origina al transportar el agua por una tubería a presión hay que determinar previamente los parámetros adimensionales número de Reynolds, Re , y la rugosidad relativa de la tubería (k/D). En nuestro caso, para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción nos centraremos más exactamente en una fórmula empírica exponencial monómica, al ser la que mejor se adapta a las condiciones de trabajo en las que nos encontraremos.

Aunque las fórmulas logarítmicas tienen mayor precisión que las empíricas (como por ejemplo las de Colebrook o Karman-Prandtl), en algunas de éstas los valores del coeficiente de rugosidad son mejor conocidos por la experiencia que los valores de la rugosidad absoluta equivalente, lo que permite resolver con suficiente aproximación los problemas relativos a las pérdidas de carga debidas al rozamiento continuo en las tuberías que transportan agua a presión. Las fórmulas empíricas deben aplicarse siempre en las condiciones de flujo y dentro de la gama de valores avalados por la experiencia. Las fórmulas empíricas responden a la siguiente expresión general:

$$J = \beta \frac{Q^n}{D^m}$$

con las unidades de J en m/m, Q en m^3/s y D en metros. El coeficiente β depende del material con que esté construida la tubería.

La fórmula monómica que nosotros emplearemos en nuestro diseño de un sistema es la aportada por **Hazen-Williams**, correspondiente a un **régimen turbulento de transición**. Se expresa como:

$$J = \frac{10,62}{C^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$$

El coeficiente C depende del material de la tubería tomando los siguientes valores:

Plásticos	C=140
Amianto cemento	C=135
Hormigón armado	C=130
Acero nuevo	C=120
Acero usado	C=110
Fundición nueva	C=100
Fundición usada	C=90

- Estudio comparativo entre dos maneras de obtención de las pérdidas de carga.

A continuación, vamos a hacer una comparativa de los resultados obtenidos para las pérdidas de cara empleando el diagrama de Moody frente a aplicando esta última ecuación. La comparativa la realizaremos para una

tubería de PVC de 2,5" y para una de HG también de 2,5". En cuanto a las velocidades, se tomarán la máxima y la mínima que emplearemos, 2m/s y 0,7m/s respectivamente. Incluimos ahora los demás datos que nos harán falta para dicho estudio.

- Diámetro tuberías:

$$D_{PVC 2,5"} = 6,35 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D_{HG 2,5"} = 6,35 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- Velocidades:

$$V_1 = 2 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0,7 \text{ m/s}$$

- Coeficientes de fórmula de Darcy-Weisbach:

$$C_{PVC} = 140$$

$$C_{HG} = 120$$

- Coeficientes de rugosidad absoluta:

$$K_{PVC} = 0.02 \text{ mm}$$

$$K_{HG} = 0,15 \text{ mm}$$

- Coeficientes de rugosidad relativa:

$$K_{PVC}/D = 3,15 \cdot 10^{-4}$$

$$K_{HG}/D = 2,36 \cdot 10^{-3}$$

- Número de Reynolds:

$$Re_{0,7} = \frac{0,7 \cdot 6,35 \cdot 10^{-2}}{10^{-6}} = 4,45 \cdot 10^4$$

$$Re_2 = \frac{2 \cdot 6,35 \cdot 10^{-2}}{10^{-6}} = 12,7 \cdot 10^4$$

Empleando el diagrama de Moody, deducimos el coeficiente de fricción, f , para las tuberías de PVC y para HG al número de Reynolds calculado obtenemos los siguientes resultados:

- Para PVC:

$$f_{0,7} = 0,023$$

$$f_2 = 0,018$$

- Para HG:

$$f_{0,7} = 0,028$$

$$f_2 = 0,026$$

Despejando de la expresión del coeficiente de fricción, obtenemos J, pérdida de carga, de la que conocemos todos los factores:

$$V = 5m^3 = 5000l$$

$$Q = 2l / s \cdot t_{llenado} = 5000l$$

$$t_{llenado} = 2500s = 41,7 minutos$$

$$Q_{máximo} = 80 \frac{litros}{persona \cdot día} \cdot 250 personas = 20.000 litros = 20m^3$$

$$Q_{máximo salida} = v_{máxima} (m/s) \cdot \sum A(m^2) = v_{máxima} (m/s) \cdot \frac{\pi \sum_{i=1}^3 D_i^2}{4} = 2 \cdot 31,54 \cdot 10^{-4} = 6,31 \cdot 10^{-3} m^3 = 6,31l/s$$

$$Q_{máximo salida} \cdot 5000l$$

$$t_{vaciar depósito} = 1160s \cdot \frac{1min}{60s} = 19,33 minutos$$

$$J = \frac{fv^2}{2gD}$$

Así, nos queda:

$$J_{PVC,0.7} = 0,009m/m = 9mm/m$$

$$J_{PVC,2} = 0,058m/m = 58mm/m$$

$$J_{HG0.7} = 0,0106m/m = 10,6mm/m$$

$$J_{HG,2} = 0,0837m/m = 83,7mm/m$$

Empleando la fórmula de Darcy-Weisbach, $J = \frac{10,62}{C^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$, obtendremos los siguientes resultados, aplicando el coeficiente C expresado anteriormente:

$$J_{PVC,0.7} = 9,4mm/m$$

$$J_{PVC,2} = 66mm/m$$

$$J_{HG0.7} = 12,5mm/m$$

$$J_{HG,2} = 87,8mm/m$$

Recogidos en una tabla, los datos quedan así:

	Moody		Darcy-Weisbach	
Velocidades (m/s)	0.7	2	0.7	2
$J_{PVC}(mm/m)$	9	58	9.4	66
$J_{HG}(mm/m)$	10.6	83.7	12.5	87.7

Se puede concluir que empleando la fórmula empírica de Darcy-Weisbach obtendremos valores de pérdidas de carga mayores a las reales,

especialmente cuanto mayor sea la velocidad (o el caudal) del fluido. Es decir, que se obtienen resultados sobredimensionados. Puesto que no hay gran diferencia entre procedimientos, se empleará el experimental, de Darcy-Weisbach, pues resulta más rápido de calcular. En el apartado práctico, veremos que en dicha fórmula se emplea un coeficiente $C=150$. Esto hará que se compense este sobredimensionamiento. De esta manera, para este mismo caso, calculando las pérdidas de carga en el caso máximo y en el mínimo, obtendríamos:

$$J_{PVC,0.7} = 8.3 \text{ mm/m}$$

$$J_{HG,2} = 58 \text{ mm/m}$$

Así que considerando este factor C , los valores de pérdidas de carga nos quedan incluso por debajo de los obtenidos por Moody.

2.6.7. PÉRDIDAS LOCALES.

Elementos como codos, tes, válvulas, etc. actúan como puntos concentrados de pérdidas por fricción. Las pérdidas que ocasiona dependen de su forma y del caudal que circule por ellos. Estas pérdidas de carga se calculan obteniendo la longitud equivalente de tubería que ocasionaría las mismas pérdidas.

A continuación, se incluyen relaciones L/D (longitud/diámetro) de distintos elementos, que es como se suele trabajar normalmente:

Elemento	L/D
Te (salida bilateral)	68
Te (paso directo)	27
Reducción gradual	06
Ampliación gradual	12
Válvula de compuerta abierta	8
Válvula de globo abierta	350
Salida de tubería	35
Codo 90° (radio corto)	33
Entrada Normal	17
Entrada mallada	150
Codo 90° (radio corto)	45
Curva de 90°	30
Codo de 45°	20
Curva de 45°	15
Unión	7

Por ejemplo, el equivalente de tubería de un codo de 90° de hierro galvanizado de 1-1/2" es:

$$1-1/2" \times 33 = 50" = 126 \text{ cm} = 1,26 \text{ metros de tubería de HG de } 1-1/2"$$

2.6.8. CARGA RESIDUAL.

Es la cantidad de energía que permanece en el sistema después de que el caudal deseado haya llegado al punto de descarga. Representa la energía gravitatoria que sobra.

Si se instala una válvula de control en el punto de descarga, se disipará dicha carga residual. Aunque reduzca el flujo de agua, probablemente conlleve a características más deseables de presión en el sistema.

- **Carga residual negativa:** Indica que no hay suficiente energía gravitatoria para desplazar la cantidad de agua deseada. Así que dicha cantidad de agua no fluirá. La línea piezométrica se debe recalcular empleando un caudal más pequeño y/o tuberías de mayor tamaño.
- **Carga residual positiva:** Indica que existe un exceso de energía gravitatoria en el sistema. El sistema podría incluso desplazar una cantidad de agua mayor a la establecida. Si se permite que descargue libremente, la carga residual positiva hará tender a aumentar el caudal que circula por las tuberías. A medida que el caudal incrementa, las pérdidas de carga por fricción disminuirán la carga residual en el punto de descarga. El flujo aumentará hasta que la carga residual sea reducida a cero.
- **Flujo natural:** Cuando la carga residual es cero en una tubería que descarga libremente a la atmósfera, significa que el máximo caudal de agua se está desplazando por dicha tubería. Esto es el flujo natural de la tubería, el caudal máximo de agua que puede desplazarse por acción de la gravedad. El flujo natural se puede controlar por medio de un dimensionado selectivo de las tuberías.

Si el flujo natural de una tubería supera el caudal que se obtiene de la fuente de agua, la tubería descarga más rápido de lo que se llena, con lo que nunca irá totalmente llena de agua. En este caso, la línea piezométrica irá sobre la superficie del agua, en el interior de la tubería. Si no hay puntos de servicio en el camino, no hay mayores consecuencias. Sin embargo, en presencia de un punto de servicio, como un grifo, es muy importante que la tubería circule totalmente llena de agua, para asegurar el buen funcionamiento de la grifería.

Las tuberías que no puedan ir llenas del todo con agua deberán incluir una válvula de control en los puntos de descarga. Ésta se ajusta hasta que se alcanza el caudal deseado. En la práctica, las válvulas de control se ajustan cuando todos los puntos de descarga están abiertos. Así, los usuarios no tienen que estar constantemente reajustando las válvulas de control cada vez que se abre o se cierra un grifo.

2.6.9. VÁLVULAS: ELEMENTOS DE FRICCIÓN VARIABLES.

Una de las maneras de controlar cantidades excesivas de energía es instalar válvulas de control en lugares estratégicos a lo largo del sistema. Una válvula es un elemento que puede ser ajustado para conseguir mayores pérdidas por fricción a medida que el agua circula por ella. Existen dos tipos de válvulas de control: las válvulas de compuerta y las de globo.

- Válvulas de compuerta:

Se emplean para cortar por completo el paso del agua. Normalmente se colocan a la salida de captaciones de agua, de depósitos de reserva, de cajas rompe-presión estratégicos, etc. No se recomiendan para regular el flujo de agua porque esto supondría a la válvula estar parcialmente abierta o cerrada y el agua erosionaría la parte de debajo de la compuerta ocasionando fugas en el momento en el que se quisiese cerrar la válvula por completo. La dirección del agua a través de la válvula no tiene importancia.

- Válvulas de globo:

Estas válvulas sí se emplean para regular el flujo de agua a través del sistema. El mejor lugar donde instalarlas es en puntos de descarga para que sea más fácil medir el caudal de agua a través de la válvula. Los puntos de descarga son generalmente en depósitos de reserva, en tanques de rompe-presión y en puntos de servicio. La dirección del flujo de agua sí es importante: hay una flecha en la válvula que indica cuál es la dirección apropiada que el agua debe seguir. Hay que asegurarse de que se instala, pues, correctamente.

2.7. LÍMITES DE PRESIÓN.

2.7.1 LÍMITES DE PRESIÓN MÁXIMOS.

A la hora de elegir una tubería, además de las consideraciones de pérdidas de carga, se tiene en cuenta el factor presión. Dependiendo de la presión que la tubería deba aguantar, se optará por tubería de PVC de 160 psi, de 250 psi ó de HG.

- PVC 160 psi:

Presión máxima: 11,25 kg/cm² (112 metros).

Estas tuberías se emplean cuando la presión no excede los 112 metros. Puesto que los otros tipos de tubería son muy caros, se procura diseñar el sistema con la máxima cantidad de trazado con esta tubería.

- PVC 250 psi:

Presión máxima: 17,58 kg/cm² (175 metros).

Estas tuberías se emplean cuando la presión se encuentra en un intervalo entre 112 y 175 metros. El espesor de las paredes de la tubería es mayor con lo que se aguantarán mejor las presiones. Es más cara que la tubería de PVC de 160 psi con lo que se debería emplear sólo cuando las condiciones de presión lo requieran, no por mejora de las condiciones de pérdidas de carga.

- Hierro Galvanizado, HG:

Presión máxima: aguanta hasta 25 kg/cm² (250 metros).

La tubería de HG se emplea en los lugares donde la presión dentro de la tubería excede los 175 metros o donde enterrar la tubería resulta imposible por las condiciones del terreno.

Todas las tuberías mencionadas tienen un factor de seguridad incluido que permite que la presión sobrepase la cantidad indicada por unos pocos metros sin problemas, pero sólo si es absolutamente necesario. Estas tuberías tienen una vida de aproximadamente 50 años en el caso de que se estén empleando correctamente según las indicaciones del fabricante.

En los perfiles hidráulicos con forma de “u”, donde primero se baja y acto seguido se sube, se puede llegar a tener presiones muy elevadas, con lo cual, en estas situaciones, muchas veces se combinan los tres tipos de tubería. En las cotas más altas se mantiene el PVC 160 psi, a medida que se desciende y la presión aguantada es mayor, se sustituye por la de 250 psi. Finalmente, si la presión excede los 175 metros, en la zona cercana al cambio de signo de pendiente (en la “u”), se empleará tubería de HG.

En ocasiones, si por ejemplo un tamaño de tubería no está disponible, es posible combinar tuberías de diámetro menor al buscado de tal manera que, al instalarlas en paralelo, consigamos las pérdidas de carga que necesitamos. A veces, esta solución puede salir incluso más barata que si empleásemos sólo una tubería.

2.7.2 LÍMITE DE PRESIÓN MÍNIMA.

Como norma general, se debe evitar diseñar sistemas en los que la línea piezométrica descienda a menos de 10 metros del suelo. Por supuesto, se evitará que la línea piezométrica vaya bajo tierra en ningún momento. Si esto sucediese, lo que tenemos es una “presión negativa” no deseable para nuestro sistema. Lo que significa esto es que el agua está siendo succionada desde abajo y no empujada desde arriba. Esta succión puede aspirar agua contaminada e introducirla en el sistema desde el exterior a través de uniones o pequeñas fugas que no estén totalmente cerradas o selladas. Además, este tipo de presiones pueden extraer el aire disuelto en el agua creando bolsas de aire en los puntos altos del sistema.

2.8. LÍMITE DE VELOCIDADES.

Si la velocidad del fluido que circula por una tubería es excesivamente elevada, las partículas en suspensión que se encuentren en el agua pueden ocasionar desgastes excesivos por erosión en el interior de la tubería. Y si la velocidad del agua es demasiado baja, estas partículas en suspensión pueden llegar a sedimentar en puntos bajos del tramo de tubería, obstruyendo el conducto con el tiempo si no es atendido. Las velocidades recomendadas son:

Máxima: 3,0 m/s

Mínima: 0,7 m/s

Las tablas incluidas en el apéndice 2 indican con un asterisco los caudales pequeños y no dan factores de pérdida de carga para caudales mayores que los recomendados.

Cuando una tubería transporta un caudal pequeño de agua, se debe contemplar posibles problemas de sedimentación. Así que se debería construir un tanque de sedimentación en la captación y se deberían construir puntos de limpieza en lugares bajos del sistema para poder eliminar toda la materia sedimentada.

2.9 BLOQUEOS DE AIRE.

Un bloqueo de aire se produce cuando una burbuja de aire suficientemente grande queda atrapada en la tubería de tal manera que llega a interferir en el paso del agua.

Cuando un sistema de distribución de agua está vacío, bien porque se acaba de construir, bien por labores de mantenimiento y se hace pasar agua de nuevo por él, el aire que había dentro que no puede escapar queda atrapado. A medida que la presión aumenta, las bolsas de aire creadas se van comprimiendo, reduciéndose así su volumen. En el proceso, parte de la presión hidrostática del sistema es absorbida, con lo que queda menos energía disponible para mover el agua. Si demasiada energía es empleada en dicho proceso de compresión de aire, no llegará caudal al punto de descarga a no ser que se trate el problema de los bloqueos de aire.

Por lo general, no habrá problema en el caso de que el tanque de distribución se encuentre a una cota por debajo de la zona de bloqueo de aire, con tal de que el bloqueo de aire se encuentre al menos 10 metros por debajo de la línea de carga estática. El análisis de bloqueos de aire se debería hacer en las zonas con perfiles en “u”.

La metodología a seguir para reducir el efecto de posibles bloqueos de aire es el siguiente:

- Elegir los diámetros de las tuberías que minimicen las pérdidas de carga entre la fuente y el primer bloqueo de aire.

- Emplear diámetros mayores en la parte de arriba y menores en la de debajo de las secciones donde el aire vaya a estar atrapado, como entre justo después del final de un perfil en “u” y la siguiente subida.
- Los bloqueos de aire que se encuentran en cotas más altas, que están más cercanos al nivel estático, son los más críticos y, consecuentemente, los que primero han de ser minimizados o eliminados.

2.9.1. VÁLVULAS DE PURGA.

Se instalan en las secciones problemáticas para permitir que el aire atrapado pueda escapar. En la siguiente figura se incluye el esquema de las válvulas de purga de aire suministradas por UNICEF.

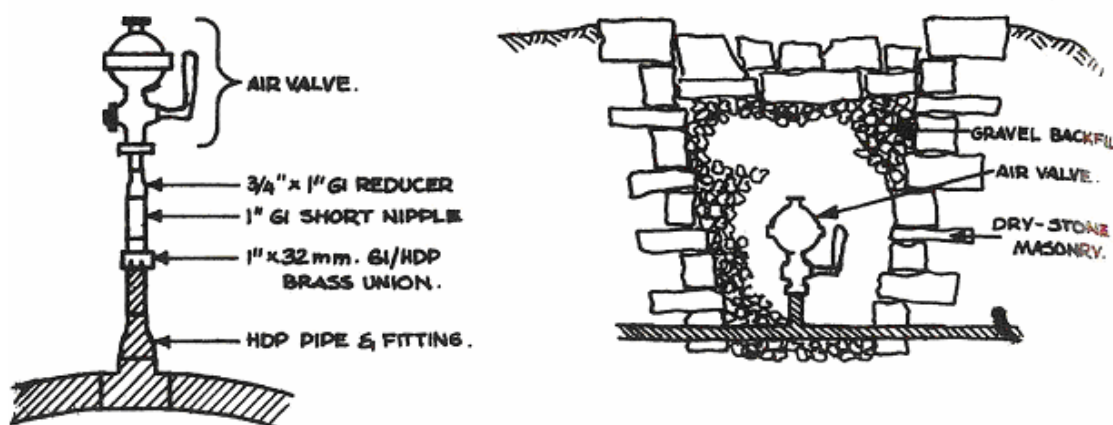


Figura 28. Válvulas de purga de aire suministradas por UNICEF.

2.9.2. VÍAS ALTERNATIVAS.

En ocasiones, cuando las válvulas de purga de aire no están disponibles, existen dos métodos alternativos para eliminar el aire retenido: instalar una válvula de control o perforar la tubería en la zona crítica con un clavo y sellar el agujero con un tornillo de aluminio o cobre. Estos métodos son más baratos que el de la válvula de purga pero tienen el inconveniente de que no son métodos automáticos y requieren ser operados manualmente por habitantes de la comunidad en cuestión. En ocasiones, cuando la tubería se rellena después de haber estado vacía, la válvula se abre (o se retira el tornillo) de tal manera que el aire salga al exterior y no quede aprisionado.

A continuación, se incluyen los criterios que determinarán si un trazado de tuberías tendrá bloqueos de aire. En primer lugar, se explica más en detalle cómo se crean y después se planteará el procedimiento de análisis y las estrategias para minimizar dicho problema.

2.9.3. FORMACIÓN DE BLOQUEOS DE AIRE.

Después de instalada la tubería, lo normal es que haya a lo largo del trazado puntos altos y puntos bajos. Si la tubería está inicialmente vacía y se va llenando de agua, se observa cómo el agua se acumulará primero en el primer punto más abajo, A (ver figura de la página siguiente) e irá ascendiendo por ambos lados equitativamente hasta que rebose en el punto B y recorra el camino hasta el punto C. En este momento, a medida que el nivel de agua crece en el punto C, el aire en la sección BC está atrapada puesto que no tiene escape ni por arriba ni por abajo. A medida que el nivel de agua en el punto C sigue aumentando, el aire atrapado se va comprimiendo. La parte de arriba de esta bolsa de aire siempre será el punto B y la parte de abajo se comprimirá cada vez más hacia dicho punto B a medida que la presión sigue aumentando. Cuando el nivel de agua está lo suficientemente alto, reborará en el punto D hasta llegar a E, creando una segunda sección DE donde el aire queda también atrapado. Desde el punto E, el nivel de agua ascenderá por la tubería hacia el tanque pero sólo si aún hay presión restante suministrada por la fuente para elevar el agua más alto. El equilibrio del sistema se puede apreciar en la figura.

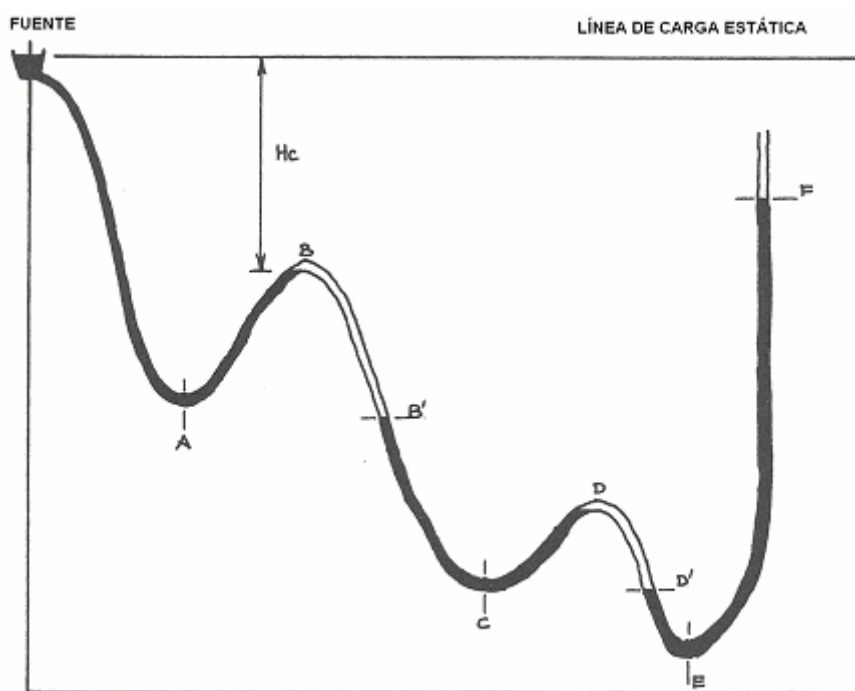


Figura 29. Sistema en equilibrio con bloqueos de aire.

La carga hidráulica entre la fuente y la parte superior del primer bloque de aire se llamará **carga de compresión, H_c** . Las secciones de tubería que contienen los volúmenes iniciales de aire, no comprimidos, se llamarán **secciones críticas** (BC y DE). La parte superior del bloqueo de aire se llamará **punto alto** (B y D) y la parte inferior será el **punto bajo** (B' y D'). La altura hasta la cual ascenderá el agua se denomina **altura máxima** (F).

2.9.4. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS.

Con la siguiente información, se podrá examinar y analizar cualquier tubería con cualquier número de bloqueos de aire. Se necesita la siguiente información para el análisis:

- **El volumen inicial de cada una de las secciones críticas.** Este es el volumen de aire no comprimido que quedará atrapado en la tubería en cada uno de los bloqueos de aire. Se puede calcular fácilmente conociendo el diámetro de la tubería y la longitud en cuestión.
- **Un perfil hidráulico detallado.** Aunque el caudal que se estableció en el diseño no puede circular en su totalidad por la tubería debido a los bloqueos de aire, es posible que una pequeña parte de éste sí lo consiga. Con tal de que una pequeña parte del caudal consiga circular, el agua irá absorbiendo gradualmente el aire que permanece atrapado, con lo que su cantidad disminuirá y el bloqueo irá decreciendo. Así, poco a poco más caudal de agua podrá ir circulando por la tubería. Después de un día aproximadamente, todo el aire que quedó atrapado irá desapareciendo de tal manera que se termine por obtener el caudal que se deseaba en el diseño del sistema. Así pues, es necesario conseguir que pueda circular un caudal mínimo a través del sistema inicialmente, superando los bloqueos de aire. Para este análisis, asumiremos que el caudal mínimo será de 0,1 l/s. El análisis comenzará en el primer bloqueo de aire que se encuentre inmediatamente después de la fuente o, en su defecto, de un tanque de rompe-presión. Todas las presiones se medirán en kg/cm^2 , las cargas hidráulicas y las longitudes de tubería en metros y los volúmenes en litros. Los pasos a realizar son los siguientes:

1) Se determinan las pérdidas de carga por fricción para los 0,1 l/s entre la fuente y el primer bloqueo de aire. Este valor se restará a la presión estática sobre el bloqueo y el resultado será la carga de compresión neta, H_c :

$$H_c = \text{presión estática} - \text{pérdidas de carga por fricción}$$

2) Con H_c , se calcula la presión del aire comprimido del primer bloqueo de aire:

$$P = (0,1 \times H_c) + 1,0$$

3) Con la ecuación de Boyle se determina el volumen del aire comprimido del bloqueo:

$$V = \frac{\text{volumen inicial de la sección crítica}}{\text{presión del aire comprimido}}$$

4) A través del volumen (en litros) por metro de tubería, se calcula la longitud necesaria de tubería para contener el bloqueo de aire:

$$L = \frac{\text{volumen de aire comprimido}}{\text{longitud por litro}}$$

5) Sobre el perfil hidráulico, se medirá la distancia “L” corriente abajo desde el punto alto del bloqueo. Esta longitud nos situará el punto bajo de dicho bloqueo.

6) Con esta información, es posible calcular la presión del aire comprimido en el siguiente bloqueo de aire, siguiendo el siguiente esquema:

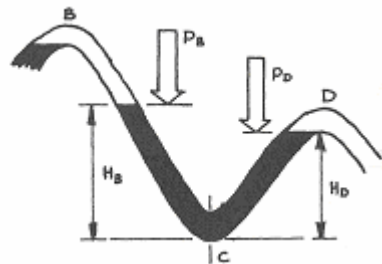


Figura 30. Detalle de un bloqueo de aire.

Pb = presión de aire comprimido en bloqueo de aire B

Hb = carga hidrostática

Pd = presión de aire comprimido en bloqueo de aire D

Hd = carga hidrostática

El equilibrio de presiones en el punto C se puede escribir como:

$$P_b + 0,1(H_b) = P_d + 0,1(H_d)$$

$$P_d = P_b + 0,1(H_b - H_d)$$

7) Conocida la presión de este nuevo bloqueo de aire, se repiten los pasos 3,4,5 y 6 sucesivamente hasta que se haya alcanzado el último de los bloqueos. Se determinará así la presión del aire y altura del punto bajo del último bloqueo.

8) Se calcula la **carga equivalente, He**, del último bloqueo de aire:

$$H_e = 10(P-1,0),$$

donde P es la presión del aire comprimido en el último bloqueo.

9) Se calcula la pérdida de carga por fricción de los 0,1l/s desde el primer bloqueo hasta el tanque corriente abajo. Este valor se resta a la carga equivalente, He, para determinar la **carga final, Hf**:

$$H_f = H_e - \text{pérdidas de carga por fricción}$$

- 10) El valor de H_f se suma a la altura del punto inferior del último bloqueo. El resultado será la máxima altura que el caudal de 0,1 l/s alcanzará. Si el tanque corriente abajo está por debajo de esta altura, entonces este caudal mínimo podrá circular por el sistema y, al final, eliminará todos los bloqueos de aire de tal manera que, con un poco de tiempo se obtendrá el caudal para el que fue diseñado el sistema. En este caso, nada especial se tendrá que hacer contra los bloqueos de aire. Si el tanque corriente abajo está a una altura superior a la altura que alcanzará el caudal de 0,1 l/s, entonces el trazado de tubería deberá ser rediseñado para minimizar o eliminar el efecto de los bloqueos de aire.

2.9.5. ESTRATEGIAS PARA MINIMIZAR BLOQUEOS DE AIRE.

Para minimizar el efecto que tienen los bloqueos de aire, el tamaño de las tuberías deberá estar especialmente elegido y ubicado.

Cuanto más alto estén los bloqueos de aire (más cercanos al nivel de presión estática), más críticos serán. Se deberán tratar estos en primer lugar pues los bloqueos que se encuentran a menor altura disponen de más presión que servirá para comprimir el aire atrapado.

Estrategia:

- Colocar los tamaños de tubería de tal manera que se minimicen las pérdidas de carga por fricción desde la fuente hasta el primer bloqueo.
- Organizar los tamaños de las tuberías de tal manera que la sección superior de una zona crítica esté con una tubería de mayor diámetro que la sección inferior de la misma.
- Si después de seguir las indicaciones anteriores aún no se consigue que el sistema funcione, se debe instalar una válvula de purga de aire en el bloqueo más alto y repetir el análisis. Si aún no marcha, se instala otra válvula de aire en el siguiente bloqueo y así sucesivamente hasta que se consiga que el caudal mínimo de 0,1 l/s comience a circular. Es bastante inusual que, en la práctica, cada uno de los puntos altos requieran su propia válvula de purga de aire.

2.10. DESAGÜES DE LIMPIEZA.

Después de un tiempo de uso, las partículas en suspensión que transporta el agua irán sedimentándose en los puntos bajos del sistema o donde la velocidad del caudal no supere los 0,7 m/s. Normalmente, los tanques de distribución permiten la sedimentación de muchas de estas partículas pero las tuberías anteriores a dicho tanque no se benefician de este fenómeno. En los tanques de rompe-presión no se produce sedimentación debido a la extrema turbulencia que tiene el agua en estos puntos.

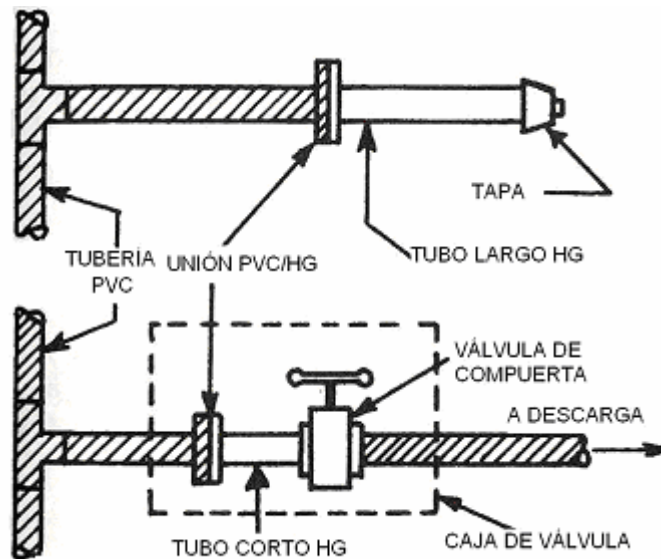


Figura 31. Esquema de tipos de desagüe intercalados en la tubería general de distribución.

Los puntos de limpieza se deben colocar en las zonas bajas de los principales perfiles en “u” del sistema. El número de puntos de limpieza depende de la fuente de donde proviene el agua; un arroyo aportará muchas más partículas en suspensión que un nacimiento.

2.11. DISEÑO DE TUBERÍAS.

La fase del diseño de tuberías comienza con el trazado gráfico del estudio topográfico y finaliza cuando todas las secciones del trazado de tubería han sido diseñadas en su forma final.

El procedimiento básico de diseño del trazado de tubería consiste en dividir éste en puntos estratégicos (normalmente tanques y puntos de servicio). En los tramos entre cada uno de estos puntos se debe determinar qué cantidad de carga se necesita disipar, además de la longitud de tubería necesaria y, con esta información, determinar el factor de pérdida de carga deseado. De las tablas de pérdidas de carga, se selecciona el tamaño de tubería más cercano a ese factor de fricción que buscamos. Si no existe ningún tamaño que se adapte correctamente, se pueden combinar dos tuberías diferentes para obtener las pérdidas buscadas.

2.11.1. COMBINACIÓN DE DISTINTOS TAMAÑOS DE TUBERÍA.

Cuando no hay disponible o no existe una única tubería que nos dé la pérdida de carga por fricción deseada, se procede a combinar dos tuberías distintas de diferentes tamaños. Así, mediante la siguiente ecuación, podemos determinar la longitud de cada una de las tuberías:

$$x = \frac{100H - F_1 \cdot L}{F_s - F_1}$$

donde:

H = pérdida de carga deseada

L = longitud total de tuberías

X = longitud de tubería de diámetro menor

F₁ = factor de fricción de tubería grande (%)

F_s = factor de fricción de tubería pequeña (%)

2.11.2. PUNTOS DE UNIÓN.

En muchas ocasiones, se combinan varias fuentes pequeñas de agua de tal manera que se obtenga el caudal deseado para abastecer a una población. En estos casos, lo más fácil es, mediante distintos tramos, dirigir el agua de cada una de las fuentes hasta un punto común que será un depósito de reunión. Este punto actuará de tanque rompe-presión.

2.12. ELEMENTOS DESTACABLES EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR GRAVEDAD.

2.12.1 TANQUES DE ROMPE-PRESIÓN.

La función de un tanque de rompe-presión es permitir descargar el caudal de agua a la atmósfera, reduciendo consecuentemente la presión hidrostática a un valor de cero y estableciendo así una nueva línea estática. La colocación estratégica de estos tanques puede minimizar la cantidad de tubería de PVC de 250 psi y de HG empleada en el sistema (salvo en los puntos de perfil de "u"). En ocasiones resultará más barato instalar un tanque de rompe-presión y tubería de PVC 160 psi que instalar directamente PVC de 250 psi.

No hay unas dimensiones mínimas que deba tener el tanque de rompe-presión. La idea es que permita que el agua se drene a la misma velocidad a la que se llena.

2.12.2. TANQUES DE DISTRIBUCIÓN.

La construcción de dicho tanque será el esfuerzo más visible de todo el proyecto. Requiere el esfuerzo combinado de mucha gente, desde albañiles que colocan la piedra y sus ayudantes que mezclan el cemento hasta incluso mujeres y niños ocasionalmente que recolectan piedras de los campos o arena de los ríos. Cuando se completa, el tanque de distribución se convierte en una especie de monumento público de la aldea y una fuente de orgullo de la comunidad, especialmente si el proyecto ha resultado ser exitoso.

En cuanto a las dimensiones del tanque, la capacidad de almacenamiento se basa principalmente en las necesidades de agua de la aldea y en el caudal aportado por la fuente de la que se capta el agua. La idea es que se pueda cubrir la necesidad de agua de la aldea en horario de máxima demanda gracias al agua que se ha ido almacenando en horario de demanda más baja. Por ejemplo, durante la noche, el agua se va acumulando en el tanque de tal manera que a la mañana siguiente, cuando la demanda es máxima, la necesidad quede cubierta. Así pues, el tamaño máximo del tanque no debería ser mayor que la necesidad de almacenar el agua captada de la fuente durante la noche.

2.12.3 CAJAS DE VÁLVULAS.

La función de una caja de válvulas es la de proteger una válvula de control de manipulaciones indeseadas o de factores externos que modificarían el equilibrio hidráulico del sistema alterando el caudal que se suministra. Las cajas de válvulas pueden colocarse junto a estructuras, como suele pasar con los tanques de distribución, o pueden estar colocados de manera independiente en un punto del trazado de tubería, en algún lugar estratégico como podría ser cercana a alguna ramificación o punto de servicio. Suelen ser de hormigón u hormigón armado y pueden contener tuberías tanto de PVC como de HG. Las dimensiones y diseño están en función del número y tamaño de las válvulas, de la frecuencia con la que se van a operar, etc.

2.13. DIFICULTADES DEL TERRENO.

En determinadas secciones del trazado de tubería, a veces es inevitable encontrarse con terreno indeseable, como pueden ser deslaves o desprendimientos de tierra, arroyos, etc. Cuando la distancia a atravesar no supera los 6-10 metros, no hay mayor complicación técnica. Se empleará simplemente tubería de HG debidamente sujeta a cada lado. Sin embargo, para tramos más largos, puede ser necesario el empleo de puentes de suspensión para la tubería.

2.13.1. DESLAVES O CORRIMIENTOS DE TIERRA.

Generalmente se suele emplear puentes de suspensión (colgantes) para atravesarlos. Las sujeciones a cada lado deben estar situadas en terreno estable y la tubería en suspensión debe estar al menos a una mínima altura tal que evite ser dañada por deslizamientos de tierra o deslaves. Debería encontrarse por encima de la línea de los 100 años. De todas formas, en muchas ocasiones y principalmente por razones de precio, se puede cavar una zanja en el deslave y enterrar en ella la tubería de PVC.

Las zanjas se deben cavar de una profundidad de aproximadamente 100cm en la medida de lo posible. Para el ancho no se contempla ningún requisito. Suele ser de unos 40 cm y viene determinado por el tamaño de la

persona que la está cavando. Los fabricantes de tubería de PVC aseguran que una vez enterrada, su vida en condiciones correctas de funcionamiento, es de unos 50 años. Al enterrar la tubería a 1 metro, se protege adecuadamente contra el paso de animales pesados que caminan sobre ella, de humanos, sirve de aislante térmico contra las heladas y muchas veces protegerá la tubería de PVC de incendios en el monte. La cantidad de tierra que queda por encima es más que suficiente como para aguantar la erosión que se pueda producir en un espacio de 50 años.

La tubería debería seguir la misma ruta que se le asignó inicialmente en el estudio topográfico. Pero en ocasiones se encuentran imponderables que obligan a introducir desvíos. Cuando se reconduce la tubería, se debe estudiar el nuevo tramo para comprobar si se afectará o no la hidráulica del sistema y si necesitará o no nueva tubería.

2.13.2. TORRENTERAS.

Nos podemos encontrar con barrancos o quebradas, normalmente de pendiente pronunciada, creadas y aumentadas en tamaño por el paso del agua de lluvia. Normalmente no tienen agua en época seca pero son semi-permeables en época de lluvias. Cuando son estrechas y de cierta profundidad, lo ideal es atravesarlas con un tramo de HG, cuando la distancia entre ambos lados no supera los 10 metros.

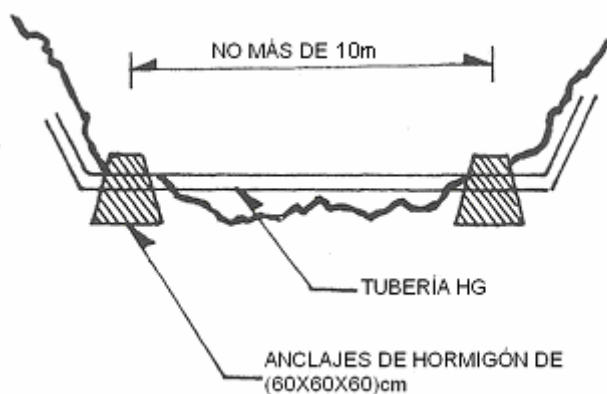


Figura 32. Cruce de torrentera.

2.13.3. ARROYOS.

Los arroyos estrechos se pueden atravesar de manera parecida al caso anterior. Simplemente se debe prestar más atención a que las orillas sean estables y que el paso del agua no las vaya a afectar. En las situaciones más precarias se recomienda reforzarlas con muros de contención o gaviones. Para arroyos que superen los 12 metros de ancho se necesitará instalar un puente de suspensión por el que pase la tubería. En cualquier caso, la altura de la tubería debe ser lo suficientemente alta como para prevenir ser dañada

por posible vegetación o tierra que venga arrastrada por el agua corriente abajo. Debería, pues, situarse sobre el nivel de los 100 años.

Se podría también instalar columnas de soporte en medio de las torrenteras o arroyos de más de 10-12 metros de ancho pero esto supone una cierta precariedad; bajo influencia de elementos externos como condiciones medioambientales extremas dichas columnas pueden ser destruidas o directamente barridas.

2.13.4. CONSIDERACIONES IMPORTANTES.

Se debe tener en cuenta que los niños se consideran como los mayores saboteadores del sistema. A pesar de que no lo hacen deliberadamente, su curiosidad conlleva destrozos y repetición de labores. Tubería expuesta, cemento fresco y demás serán una atracción, con resultados negativos.

Aldeanos adultos, especialmente los que van de paso, también pueden sentir curiosidad por el sistema y pueden ocasionar algún daño. Elementos expuestos como valvulería pueden ser robados, o incluso tubería al descubierto puede ser cortada y transportada a algún otro sitio.

Animales pesados, como pueden ser las vacas, pueden romper la tubería de PVC si ésta se encuentra expuesta y se camina directamente sobre ella o se le propina algún golpe. Además, zanjas abiertas pueden suponer un peligro para los animales; en más de una ocasión se han roto patas o incluso caído dentro partiéndose el cuello y muriendo, con la consecuente gran pérdida para el aldeano.

Así pues, hay unos puntos que se recomienda llevar a cabo para prevenir alguno de estos tipos de problemas:

Nunca se debe dejar tubería expuesta en una zanja, excepto en las uniones, que se cubrirán parcialmente hasta que se haya comprobado que aguantan la presión estática durante 24 horas. Al final de la tubería, después de la jornada de trabajo, se debe colocar un tapón que cierre el conducto.

Obstáculos como palos o incluso plantas espinosas se pueden colocar alrededor de estructuras que aún tienen cemento húmedo. Si fuese necesario, uno o dos aldeanos pueden dormir al lado hasta que se haya secado por completo.

No se debe dejar válvulas de control expuestas. Se deben instalar solamente después de que las arquetas o cajas de válvulas han sido construidas y tienen una tapa segura. Si se retira la llave para operar la válvula también se puede evitar posible manipulación no deseada de ésta.

2.13.5. PUENTES EN SUSPENSIÓN.

En ocasiones, será necesario atravesar determinados obstáculos en el terreno mediante tubería en suspensión. Estos obstáculos pueden ser arroyos anchos o terreno inestable propenso a corrimientos de tierra o erosiones, normalmente de más de 12 metros de ancho.

A pesar de que existen diversos modelos para cada situación en particular, hay varios principios fundamentales que se deben emplear. Cada diseño posee unas características que son comunes con otros diferentes:

- La tubería debe ser lo suficientemente alta como para no ser dañada por objetos (como vegetación) que puedan ser arrastrados por la corriente en un momento de máximo caudal o bien por piedras o tierra que se desprendan a causa de deslaves.
- El cable que aguanta la tubería debe estar propiamente amarrado o sujeto a terreno estable en ambos lados.
- El tramo en suspensión debe estar lo más nivelado posible, es decir, que la altura a ambos lados sea prácticamente la misma.
- El cable de sujeción debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar su propio peso, además del de la tubería, el agua que circula por ella y las componentes de fuerza ocasionadas por el viento y el balanceo.
- La tubería debe estar sujeta con seguridad al cable en suspensión, bien por alambres o mordazas de algún tipo.

La tubería en suspensión bien puede ser de HG o de PVC, dependiendo del presupuesto disponible y de los materiales accesibles. Sin embargo, el uso de PVC conlleva a que éste se debilite al estar expuesto a la intemperie y tenga una vida mucho menor que la que debiera bajo condiciones más normales. Además, al ser más frágil puede quebrarse con mucha más facilidad.

A continuación se incluyen varios modelos posibles para construir un puente colgante:

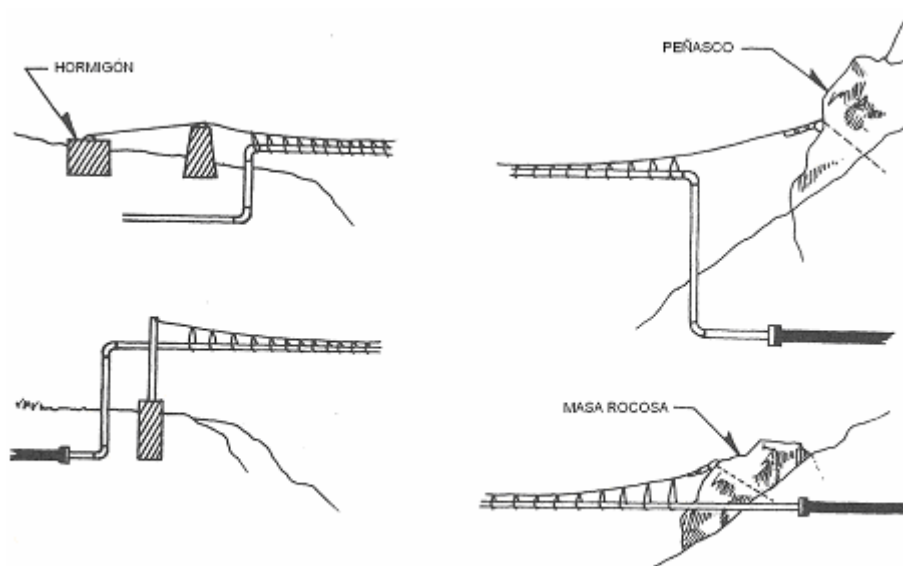


Figura 33. Distintos pasos en suspensión.

Cálculos básicos:

Los cálculos que se incluyen a continuación determinan la tensión en el cable suspendido, dato que determinará las dimensiones de dicho cable al igual que el diseño del anclaje a ambos lados. A continuación, se incluye un esquema típico de este tipo de estructuras:

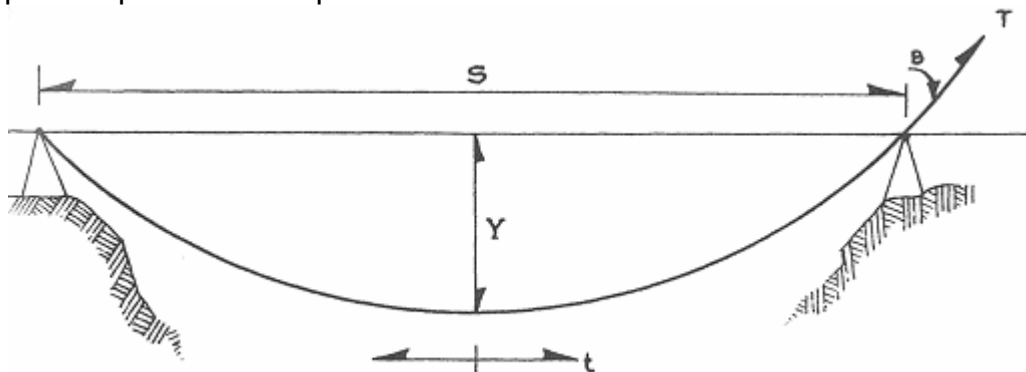


Figura 34. Variables para el cálculo de la suspensión.

Las variables son las siguientes:

- W_c = peso del cable por unidad de longitud (kg/m)
- W_p = peso de la tubería por unidad de longitud (kg/m)
- W_w = peso por unidad de longitud de agua en tubería (kg/m)
- W = peso total por unidad de longitud en suspensión ($W_c + W_p + W_w$)
- S = longitud entre anclajes (m)
- Y = flecha (m)
- L = longitud total de cable, incluyendo anclado (m)
- t = tensión horizontal en el cable en punto medio (kg)
- T = tensión total del cable en anclajes (kg)
- B = ángulo entre la vertical y el vector tensión (grados)

- En primer lugar, se selecciona la flecha deseada, Y. No debe ser demasiado grande para evitar que posibles elementos que bajen arrastrados por la corriente puedan afectar a la tubería. Una flecha de longitud 8-10% de la longitud entre anclajes es un buen valor en el caso de que exista dicho espacio. Se elige un cable arbitrariamente para realizar cálculos de prueba, orientativos. Se suele elegir un cable de acero de ¾".
- En segundo lugar, determinamos Wc, Wp y Ww a partir de las especificaciones de los fabricantes. Después, se calculará el efecto que tiene el viento sobre el peso. Esto se hace considerando que $W_{viento}=15\%$ de $(Wc + Wp + Ww)$. Por último, calcularemos $W=(Wc + Wp + Ww + W_{viento})$.
- A continuación, calculamos la tensión horizontal, t:

$$t = \frac{WS^2}{8Y} (kg)$$

- Después, obtenemos el ángulo de tensión:

$$B = \arctan \frac{4Y}{S} (grados)$$

- Luego, se calcula la tensión total, T:

$$T = \frac{4t}{\cos B} (kg)$$

Esta expresión incluye un coeficiente de seguridad de 4.

- Lo que se hace después es comparar la tensión total, T, con la tensión permitida por el cable seleccionado. Si es necesario, se debe seleccionar un cable más grande o más pequeño según los resultados y repetir los cálculos en caso de optar por otro cable.
- Por último, hallaremos la longitud de cable, L, que necesitaremos:

$$L = S \cdot \left(1 + \frac{8Y^2}{3S^2} \right) + \text{longitud extra para anclaje}$$

En el apéndice 4 se incluyen unos modelos de puentes que fueron empleados o sirvieron de guía a la hora de reconstruir sistemas durante las labores de emergencia.

En el apéndice 5 se incluyen algunos esquemas que muestran diversas maneras de construir anclajes en los extremos.

2.14. PURIFICACIÓN DE AGUA.

Normalmente, si el agua proviene de un nacimiento que surge directamente de la montaña, no se necesitará aplicar ningún método de purificación del agua, especialmente si en los análisis que se le han realizado de detección de NO_x y de microorganismos patógenos aparece como apta para consumo humano. En general, como se verá más adelante, no se suele clorar el agua por dos razones principales: por razones económicas, pues la comunidad rechaza la idea del continuo costo que supondría para ellos tener que adquirir constantemente el cloro necesario y, por otro lado, porque ven con escepticismo incluir productos químicos en el agua que consumen, llegando a pensar incluso que, de hecho, es así como les puede perjudicar. De todas maneras, en el caso de que el agua no fuese lo suficientemente pura, existen tres métodos fundamentales para la purificación del agua a nivel rural: el hervido y la desinfección solar como desinfecciones físicas y la cloración como desinfección química. El método que sí se suele emplear normalmente a nivel doméstico es el hervido de agua.

2.14.1. HERVIDO.

Es una práctica segura y tradicional que destruye microorganismos patógenos tales como virus, bacterias, quistes y huevos. Si bien es efectivo como tratamiento casero, no es un método factible para abastecimientos públicos de agua. Sin embargo, en situaciones de emergencia se puede usar el hervido del agua como medida temporal. Para un resultado más efectivo, se recomienda mantener el hervido durante al menos 10 minutos. Aún así, no es del todo eficiente porque hay algunos microorganismos que resisten el proceso.

2.14.2. RADIACIÓN DE LUZ ULTRAVIOLETA.

La Desinfección Solar del Agua (SODIS) es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico en lugares en los que la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada. Es un método efectivo de desinfección para agua claras, pero su efectividad es reducida significativamente cuando el agua es turbia o contiene constituyentes tales como nitrato, sulfato y hierro en su forma ferrosa. El método SODIS usa la luz solar para destruir los microorganismos patógenos que causan enfermedades transmitidas por el agua y de esa manera mejora la calidad del agua utilizada para el consumo humano. Los microorganismos patógenos son vulnerables a dos efectos de la luz solar: la radiación en el espectro de luz UV-A (longitud de onda 320-400nm) y el calor (incremento en la temperatura del agua). Se produce una sinergia entre estos dos efectos. Esto implica que la mortalidad de los microorganismos se incrementa cuando están expuestos a la temperatura elevada y a la luz UV-A simultáneamente. SODIS es ideal para desinfectar pequeñas cantidades de agua con baja turbiedad.

Se llenan botellas de plástico transparente con agua contaminada y se exponen a la luz solar durante seis horas. La exposición al sol destruye los patógenos. Cuando la nubosidad es mayor de 50%, es necesario exponer las

botellas de plástico durante 2 días consecutivos para obtener agua segura para el consumo humano. Sin embargo, si la temperatura del agua supera los 50°C, una hora de exposición es suficiente para obtener agua segura. Un inconveniente es que este método de desinfección no produce ningún residuo que proteja al agua contra una nueva contaminación y que podría servir para propósitos de control y vigilancia.

La luz ultravioleta ha sido usada para desinfección en varios países desarrollados, pero se le aplica muy rara vez en países en desarrollo.

2.14.3. CLORACIÓN.

La cloración ha desempeñado durante casi un siglo una función crítica al proteger los sistemas de abastecimiento de agua potable de las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua. Se ha reconocido ampliamente la cloración del agua potable como uno de los avances más significativos en la protección de la salud pública. La filtración y la cloración prácticamente han eliminado las enfermedades transmitidas por el agua (como el cólera, la tifoidea, la disentería y la hepatitis A) en los países desarrollados. Los desinfectantes basados en cloro son los únicos desinfectantes importantes con las propiedades residuales duraderas que previenen un nuevo crecimiento microbiano y proporcionan protección continua durante todo el proceso de distribución. El hipoclorito (lejía) puede destruir cultivos puros de bacterias. La exposición al cloro parece causar alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de la célula. De esa manera destruye la barrera protectora de la célula, con lo que concluyen las funciones vitales y se produce la muerte del microorganismo. Los siguientes factores influyen en la desinfección del agua:

- La naturaleza y número de los organismos a ser destruidos.
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua a ser desinfectada. Cuanto más alta sea la temperatura, más rápida es la desinfección.
- El tiempo de contacto. El efecto de desinfección se vuelve más completo cuando los desinfectantes permanecen más tiempo en contacto con el agua.
- La naturaleza del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas en suspensión, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, el proceso de desinfección es generalmente obstaculizado.
- El pH (acidez/alcalinidad) del agua.
- La mezcla. Una buena mezcla asegura la adecuada dispersión del desinfectante a través de todo el agua y, así, promueve el proceso de desinfección.

Para el tratamiento eficaz del agua, se ha reconocido la necesidad de una exposición adecuada al desinfectante y una dosis suficiente de desinfectante por un determinado período. El valor CT representa la combinación de la dosis de desinfectante y el tiempo que el agua ha estado expuesta a una mínima cantidad de desinfectante residual.

C = concentración final de desinfectante en mg/l

T = tiempo mínimo de exposición en minutos

2.14.4. DESINFECCION DE TANQUES Y TUBERÍAS.

2.14.4.1. TANQUES NUEVOS.

Todos los tanques nuevos y depósitos deben ser desinfectados antes de ponerlos en servicio. De igual manera, los tanques que han estado fuera de servicio por reparación o limpieza también deben ser desinfectados antes de que se les vuelva a poner en servicio. Antes de la desinfección, se debe limpiar las paredes y los fondos mediante barrido y restregado para quitar toda la suciedad y material suelto.

Uno de los métodos de desinfección usados para un tanque nuevo es llenarlo hasta el nivel de derrame con agua limpia a la cual se agrega cloro suficiente para producir una concentración de 50 mg/l. Se introduce en el agua la solución de cloro lo más pronto posible durante la operación de llenado con el fin de asegurar una mezcla y contacto completos con todas las superficies a ser desinfectadas. Se mantiene lleno preferiblemente durante 24 horas pero no por menos de 6 horas. Entonces se debe drenar el agua y rellenar el tanque para el abastecimiento regular.

Un segundo método, que es bastante satisfactorio y práctico en las condiciones rurales, es la aplicación directa de una solución fuerte (200 mg/l) a las superficies internas del tanque. La superficie debe permanecer en contacto con la solución fuerte por lo menos durante 30 minutos antes de llenar el tanque con agua.

Un tercer método, que se debe usar sólo cuando no se puede usar otros, no expone las superficies superiores de las paredes a una solución fuerte de cloro. Se alimenta agua al tanque con un contenido de cloro de 50 mg/l, a un volumen tal que posteriormente, cuando se llene completamente el tanque, la concentración resultante de cloro sea de aproximadamente 2 mg/l. Se conserva el agua que contiene 50 mg/l de cloro en el tanque por 24 horas antes de llenar completamente el tanque. Entonces se puede poner en servicio el tanque sin extraer el agua usada para la desinfección siempre que el residuo final no sea demasiado elevado.

2.14.4.2. NUEVAS TUBERÍAS Y CONDUCTOS MAESTROS.

Es probable que los conductos maestros de distribución y las tuberías se contaminen durante su colocación aún si se toma en consideración las precauciones necesarias. Por lo tanto, se les debe desinfectar antes de ponerlas en uso. Los sistemas de distribución necesitan ser desinfectados cuando se contaminan en el caso de roturas de la tubería maestra o de inundaciones. Se debe limpiar toda tubería mediante escobillado y flujo a presión con el fin de retirar toda materia extraña.

Un medio práctico de aplicar la solución de cloro para la desinfección de sistemas rurales de abastecimiento de agua consiste en lavar con flujo cada sección a ser desinfectada. Se cierra la válvula de entrada y se deja secar la sección que se va a desinfectar. Luego, se cierra el grifo de descarga o válvula y se aísla la sección del resto del sistema. Se alimenta la solución

desinfectante a través de un embudo o una manguera hacia un grifo o una abertura hecha especialmente para ese propósito en la parte más elevada de la tubería. Ya que las válvulas de purga de aire por lo general están colocadas en estos puntos altos, a menudo el retirar una válvula de purga es una forma conveniente de proveer un punto de entrada. La solución se introduce lentamente hasta que la sección esté completamente llena. Debe ponerse cuidado en asegurar que pueda escapar el aire atrapado en la tubería. Si no existen válvulas de purga de aire ni otros orificios, se debe desconectar una o dos conexiones de servicio para permitir la salida del aire.

2.14.5. DESINFECCIÓN EN SITUACIONES DE EMERGENCIA.

Las medidas a largo plazo para la provisión de abastecimientos de agua segura, apoyadas por la higiene personal y la educación para la salud, ayudarán grandemente a proteger y promover la salud pública. Sin embargo, en situaciones de emergencia se requieren medidas rápidas para el abastecimiento de agua segura. El objetivo es asegurar agua limpia, dependiendo de las condiciones locales y de los recursos disponibles.

Cuando el sistema regular de abastecimiento de agua se ve afectado debido a un desastre, se debe dar la prioridad máxima a volver a poner el sistema en operación. Una acción similar para resolver la situación debe incluir una búsqueda completa de todas las fuentes posibles de agua dentro de una distancia razonable del área afectada. Se puede transportar el agua desde sistemas particulares de abastecimiento y desde otras fuentes mediante cisternas hasta los puntos de consumo.

Después de las inundaciones, cuando el sistema de distribución del abastecimiento de agua permanece intacto, se debe elevar la presión en las líneas de tuberías de tal forma que se evite que el agua contaminada ingrese en ellas. Se recomienda la cloración de dosificación elevada sólo en circunstancias extremas o cuando se limpia tuberías nuevas.

En muchos países se dispone con mucha facilidad de soluciones que contienen compuestos que son dosificados en forma de solución o de tableta. Estos son bastante buenos para desinfectar cantidades pequeñas de agua pero son caros. Después de la adición de la sustancia química en la cantidad prescrita, se agita el agua y se le permite asentarse durante 30 minutos antes de consumirla. Si el agua es turbia, puede que sea necesario aumentar la dosis de la sustancia química.

Uno de los problemas que presenta la cloración, además del coste que supone hacerse con el cloro, es que los habitantes de las pequeñas comunidades rurales rechazan su uso ya que desconfían de un agua que pueda oler o saber diferente. No les suele gustar la idea de que se le añadan químicos a su agua, a pesar de que esto pueda mejorar las condiciones de potabilidad de ésta. De todas maneras, en muchas ocasiones se les reparte la información pertinente a concentraciones de cloro en agua idóneas para su desinfección. A continuación, se muestra un ejemplo de una hoja que se reparte en algunas aldeas en la zona rural de Guatemala.

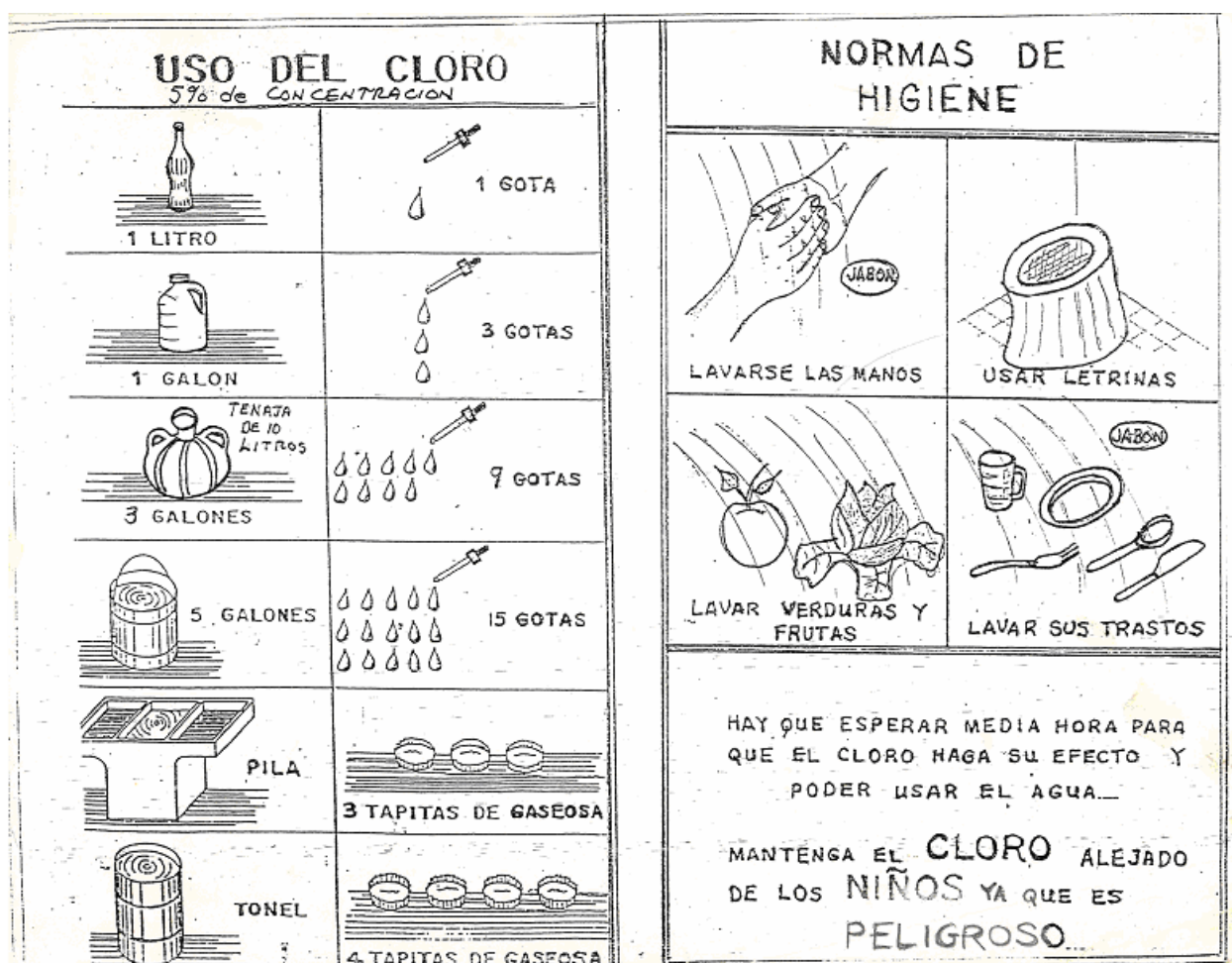


Figura 35. Hoja repartida acerca del cloro como parte del programa de promoción de salud.

2.15. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN SITUACIONES DE EMERGENCIA Y DESASTRES NATURALES. DOTACION DE AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL.

En este apartado, para intentar desarrollar unos objetivos específicos y unas estrategias que fuesen eficientes, he basado la información en estudios y experiencias aportados por la Organización Panamericana de la Salud, una oficina regional de la OMS. Es un volcado de las recomendaciones de dicho instituto, con ciertas modificaciones y correcciones que mi experiencia y la de la ONG en la que participé ofrecieron.

2.15.1. INTRODUCCION.

Debido a la naturaleza crítica del agua y saneamiento ambiental para la supervivencia, las Empresas, Departamentos u Oficinas de Agua deben estar preparadas para cumplir con los siguientes compromisos básicos una vez iniciada una emergencia:

- 1) Asegurar el acceso a agua potable segura en caso de emergencia mediante la desinfección del agua (cloro e instrucciones detalladas de como usarlo a nivel local y para agua hervida) entre otras.
- 2) Provisión de recipientes de agua (recipientes plásticos y mensajes de manejo de agua purificada).
- 3) Provisión de jabón y difusión de mensajes claves de higiene personal y comunitaria y mensajes específicos de los daños del cólera y de otras enfermedades relacionadas.
- 4) Facilitar la disposición segura de excrementos y basuras (palas, efectivo para contratar servicios privados locales, mensajes educativos relacionados e instrucciones de construcción de letrinas.
- 5) Asegurar la capacidad de financiación para atender las emergencias y proveer suministros específicos (depósitos de agua, jabón, cloro, palas, letrinas móviles, tubería y accesorios, equipos de bombeo, etc.).
- 6) Asegurar la pronta rehabilitación y reconstrucción de los sistemas de agua y saneamiento dañados.

Para asegurar la capacidad de cumplimiento de sus compromisos, las Empresas, Departamentos u Oficinas mejorarán los aspectos de planificación, preparación y capacidad técnica institucional para atender emergencias.

Es evidente también la necesidad de desarrollar las capacidades regionales y locales, no solo a nivel institucional sino también a nivel comunitario sectorial con anterioridad a que se sucedan situaciones de emergencia.

Basado en lo anterior y en las experiencias de manejo de situaciones de emergencia se puede concluir que, en general, existen altas vulnerabilidades físicas, administrativas y funcionales en los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento, tanto para las áreas urbanas y periféricas, como para las rurales, particularmente en los países en vías de desarrollo.

Es en este contexto que se propone desarrollar las siguientes actividades de planificación y respuesta ante desastres para el sector de agua y saneamiento.

2.15.2. OBJETIVO GENERAL.

Asegurar que las personas en las comunidades afectadas por desastres tengan acceso a agua sanitariamente segura, disposición adecuada de excrementos, aguas negras, basuras y acceso a mensajes claves para la higiene.

2.15.3. SUPUESTOS DE PLANIFICACION.

Se debe considerar que en los países existen regiones con diferentes grados de vulnerabilidad de tipo físico, social, ambiental por lo que es necesario determinar la población total en zonas de riesgo. Si se considera que un porcentaje máximo de la población se vería directamente afectado por cualquier tipo de emergencia, las Empresas, Departamentos u Oficinas han de estar preparados para atender, en el caso más desfavorable, un total de personas previamente determinado.

- Se determinará o estimará el número de personas expuestas a contraer enfermedades.
- Se determinará o estimará las necesidades de agua y saneamiento ambiental, para el caso más crítico.
- Se determinará o estimará el número de familias que quedarán sin domicilio fijo y que tuviesen necesidad de realojamiento o bien se contemplará la posibilidad de restablecer las viviendas.
- Se determinará, estimará o supondrá la situación en la que quedarían las redes sociales actuales y si se generaran conflictos y aislamientos de grupos organizados.
- Se determinarán y/o estimarán las necesidades de apoyo especializado de equipos de respuesta a desastres ajenos a las Empresas, Departamentos u Oficinas.
- Se determinará y/o estimará el número de sistemas de abastecimiento de agua que requerirán ser rehabilitados y reconstruidos.
- Se determinará y/o estimará el número de hogares cuyos sistemas de disposición de excrementos quedarán inservibles y deberán ser rehabilitados y reconstruidos.

2.15.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

ANTES DEL EVENTO.

- Actualizar por lo menos cada tres años el análisis de vulnerabilidad.
- Incluir en los presupuestos anuales de las Empresas, Departamentos u Oficinas fondos para atender posibles situaciones de emergencias.

- Estimular una red de cooperación entre Empresas, Departamentos u Oficinas, la sociedad civil y el sector privado para fortalecer la atención en casos de emergencia.
- Mejorar la capacidad de respuesta y, en especial, la agilidad en la adquisición de suministros y movilización de fondos para situaciones de emergencia.
- Preparar mensajes informativos e instrucciones para enfrentar los diferentes casos de emergencias.
- Definir la fuente principal o alternativa de suministros para cumplir los compromisos en casos de emergencia.
- Identificar y fortalecer grupos comunitarios que permitan aumentar la capacidad de ejecución en situaciones de emergencia.
- Definir mecanismos que permitan potenciar las contribuciones comunitarias.
- Definir una estrategia de comunicación para mejorar las condiciones ambientales y de higiene personal en situaciones de emergencia.

MEDIDAS EN LAS PRIMERAS 72 HORAS.

- Asegurar la desinfección del agua (proporcionar cloro e instrucciones detalladas de como usarlo a nivel local y para manejo de agua hervida)
- Proveer herramientas para remover derrumbes y facilitar la disposición segura de excrementos y basuras (palas, azadones, picos, almadanas, efectivo para contratar servicios privados locales, mensajes educativos e instrucciones de construcción de letrinas).
- Provisión de recipientes de agua (recipientes plásticos y mensajes de manejo de agua purificada).
- Provisión de jabón y difusión de mensajes claves de higiene (jabón, difusión de mensajes de lavado de manos y mensajes específicos de los daños del cólera y de otras enfermedades relacionadas)
- Activar las redes sociales, especialmente de mujeres, para la atención de las emergencias.

DURANTE Y DESPUÉS DE LAS PRIMERAS 72 HORAS.

- Realizar una evaluación completa de la situación de los servicios de agua, saneamiento y educación sanitaria.
- Asegurar la desinfección del agua en el 100% de las poblaciones afectadas por la emergencia.
- Apoyar la construcción de mecanismos para la disposición adecuada de excrementos que aseguren seguridad y privacidad de las personas afectadas.
- Apoyar en la optimización de los sistemas de abastecimiento de agua de las comunidades afectadas (incluye ampliaciones y mejoras de los servicios).
- Proveer tanques para almacenamiento de agua en escuelas y centros de salud y recreativos.
- Realizar acciones para la adecuada disposición de aguas negras y aguas de lluvia en las zonas afectadas.
- Proteger los sistemas de abastecimiento de agua por cambios estacionales, preparación para la época de cólera, etc.

- Expandir las instalaciones para higiene (pilas para lavado de ropa, etc.)

2.15.5. ESTRATEGIAS.

Todas las actividades previstas desarrollar antes de una situación de emergencia se realizarán como parte de las funciones y atribuciones regulares de las Empresas, Departamentos u Oficinas de agua. Se deberá asignar un presupuesto específico para su ejecución.

Las Empresas, Departamentos u Oficinas deberán realizar acciones específicas en las primeras 72 horas de un suceso de emergencia y posterior a las 72 horas para la rehabilitación y reconstrucción.

Los principios orientadores de la estrategia sectorial en situaciones de emergencia deberán ser las siguientes:

- a)** Promoción para la atención prioritaria de los niños y los pobres.
- b)** Restablecimiento rápido de los servicios con alta participación comunitaria.
- c)** Fomento de la capacidad institucional y comunitaria para garantizar la sostenibilidad de los servicios.
- d)** Vínculos sectoriales con salud, nutrición, medio ambiente y otros proyectos de desarrollo.
- e)** Cooperación, establecida y fortalecida con las autoridades nacionales y locales, sociedad civil, ONGs y otros a fin de proporcionar apoyo complementario.
- f)** Enfoques que propicien un equilibrio en la atención de hombres y mujeres.

-Las estrategias operacionales la serán las siguientes:

- a)** apoyo en forma de acción catalítica para el restablecimiento pronto de los servicios
- b)** fomento de la capacidad descentralizada de las emergencias
- c)** potenciación de las comunidades y las familias mediante enfoques de participación en la atención de las emergencias
- d)** promoción y movilización social (información, comunicación y educación sanitaria)
- e)** colaboración con los gobiernos regionales y locales, sistema de naciones unidas, sector privado, sociedad civil y ONGs
- f)** movilización de recursos propios, nacionales e internacionales para atender las emergencias.

2.15.6. PERSONAL.

El equipo de trabajo de las Empresas, Departamentos u Oficinas prestará la colaboración sobre el terreno para asegurar el acceso a agua segura de la población afectada, así como para la adecuada disposición de los excrementos y basuras y para la difusión de mensajes para la higiene personal. Deberán realizar también la rehabilitación y reconstrucción de los sistemas de abastecimiento.

El equipo se reforzará, dependiendo de la magnitud de la emergencia, con personal temporal experto previsto.

Cada equipo se podrá reforzar con el siguiente personal nacional: 1 ingeniero civil y sanitario, 2 inspectores de salud y 2 promotores sociales.

Tipo	Tarea	No.	Período	Costo US\$	Fondos
Monitoreo y evaluación	Apoyo en la evaluación de daños y elaboración de informes de situación	1	1.5 semanas	2,600.00	Programa regular
Suministros, auditorías y movilización de fondos	Apoyo en establecimiento de mecanismos para mejorar el sistema de adquisición, entrega y auditoría de suministros. Apoyará en la búsqueda de fondos adicionales.	1	2 semanas	3,500.00	Programa regular
Asistencia técnica Equipo Externo	Apoyar en la evaluación de daños y elaboración de propuestas para financiamiento.	1	1 semana	2,200.00	Programa regular
Apoyo técnico nacional (Ing, civil y sanitario).	Apoyar en la implementación, monitoreo y evaluación de las actividades que se ejecuten	1	3 meses	6,400.00	Fondos que se asignen a la emergencia regulares o adicionales.
Apoyo técnico para la promoción social	Apoyar en la promoción social durante la implementación de las actividades de rehabilitación y reconstrucción de sistemas	2	4 meses	6,200.00	Fondos que se asignen a la emergencia regulares o adicionales.
Total				20,900.00	

Figura 36. Tabla de actuaciones de personal en emergencia.

2.15.7. SUMINISTROS, EQUIPOS Y OTROS RECURSOS REQUERIDOS.

Se relacionan los suministros, equipos y otros recursos que se requieren para proporcionar asistencia humanitaria básica en la atención de emergencia de abastecimiento de agua y saneamiento. En el cuadro 1 se incluye lo referente a suministros, equipos y otros recursos que se deberán tener en stock para realizar una atención inmediata en una emergencia. Lo indicado en el cuadro 2 se refiere a lo que se debe proporcionar en los primeros 5 días de sucedida la emergencia, para ello se suscribirán convenios-compromiso con los proveedores para facilitar la entrega.

Material	Especificaciones	Total necesidades	Stock de emergencia	En stock	Fuente	Costo estimado en US \$	Local	No Local
Depósitos con tapadera.	Plástico. 1,000 litros.	15	15	0	Fondos regulares	1,500	X	
Cajas de tabletas de cloro	100 unidades c/u	2,000	2,000	0	Fondos regulares	13,000	X	
Palas	Hierro	50	50	0	Fondos regulares	325	X	
Hipoclorito de Calcio	Tambos al 65%.	10	10	0	Fondos regulares	1,300	X	
Azadones	Hierro	50	50	0	Fondos regulares	325	X	
Barretas	Hierro	50	50	0	Fondos regulares	325	X	
Almádanas	Hierro. 10 libras.	10	10	0	Fondos regulares	650	X	
Picos	Hierro	50	50	0	Fondos regulares	325	X	
Paquetes de papel higiénico	12 rollos c/u	500	500	0	Fondos regulares	1,000	X	
Rollos de nylon	Negro. 25 metros.	50	50	0	Fondos regulares	650	X	
Rollos de cuerda de nylon	Diferentes colores. 5 libras.	50	50	0	Fondos regulares	150	X	
Cajas de jabón	Unox, ámbar, otros.	50	50	0	Fondos regulares	400	X	
Cántaros con tapadera	Plástico. 10 libras.	1,000	1,000	0	Fondos regulares	2,000	X	
Palanganas pequeñas	Plásticas.	1,000	1,000	0	Fondos regulares	400	X	
Vasos	Plásticos. 8 onzas	5,000	5,000	0	Fondos regulares	300	X	
Letrinas portátiles		100	100	0	Fondos regulares	8,000	X	
Hipoclorito de sodio	Galones al 5%. Plástico.	150	150	0	Fondos regulares	250		X
Burbujas	Lona, 1000 litros	25	25	0	Fondos regulares	1,200		X
Carretillas de mano	Hierro fundido	20	20	0	Fondos regulares	920	X	
Plantas de agua	Portátiles. ESAL o similares.	4	4	0	Fondos reguales	34,000		X
Totales						67,020		

Figura 37. Suministros y equipo para agua y saneamiento (primeras 72 horas).

Nota: Estos suministros son el mínimo de materiales que se tendrán en el almacén a nivel central para iniciar el apoyo en la atención humanitaria de cualquier tipo de emergencias.

Materiales	Especificaciones	Total necesidades	Stock de emergencia	En stock	Proveedor	Fuente	Costo estimado en US \$	Local	No Local
Depósitos con tapadera.	Plástico. 20 litros.	200	200	0	1	Fondos reg.	4,000	X	
Depósitos con tapadera	Plástico. 500 litros	20	20	0	1	Fondos reg.	1,600	X	
Depósitos con tapadera	Plástico. 1000 litros.	20	20	0	1	Fondos reg.	2,700	X	
Hipoclorito de Calcio	Tambos. Al 65%.	50	50	0	2	Fondos reg.	5,000	X	
Hipoclorito de sodio	Galones. Al 5%.	500	500	0	2	Fondos reg.	1,600	X	
Bombas de Achicar	5 HP. De combustible.	5	5	0	2	Fondos reg.	3,900	X	
Láminas de zinc	6 pies. Calibre 29	1,000	1,000	0	3	Fondos reg.	6,700	X	
Detergentes y jabones	Ambar, protex, fab o similar.	100	100	0	1	Fondos reg.	1,000	X	
Palas		70	70	0	3	Fondos reg.	210	X	
Picos		20	20	0	3	Fondos reg.	100	X	
Barretas		20	20	0	3	Fondos reg.	220	X	
Azadones		20	20	0	3	Fondos reg.	125	X	
Martillos		20	20	0	3	Fondos reg.	125	X	
Bolsas	Plásticas. 50 libras.	5,000	5,000	0	1	Fondos reg.	500	X	
Carretillas de mano		50	50	0	3	Fondos reg.	2,300	X	
Letrinas portátiles		100	100	0	1	Fondos reg.	8,000	X	
Bombas manuales	Tipo Maya.	25	25	0	4	Fondos reg.	2,300	X	
Tubos	PVC ½", 315 PSI	500	500	0	5	Fondos reg.	600	X	
Tubos	PVC ¾", 250 PSI	400	400	0	5	Fondos reg.	600	X	
Tubos	PVC 1", 160/250PSI	400	400	0	5	Fondos reg.	700	X	
Tubos	PVC 1 ¼", 160/250 PSI	200	200	0	5	Fondos reg.	700	X	
Tubos	PVC 1 ½", 160/250PSI	200	200	0	5	Fondos reg.	600	X	
Tubos	PVC 2", 160/250 PSI	200	200	0	5	Fondos reg.	1,200	X	
Tubos	PVC 2 ½", 160/250 PSI	100	100	0	5	Fondos reg.	1,200	X	
Tubos	PVC 3", 160/250 PSI	100	100	0	5	Fondos reg.	2,000	X	
Tubos	PVC 4", 160/250 PSI	100	100	0	5	Fondos reg.	2,400	X	
Tubos	PVC 6", 160 PSI	100	100	0	5	Fondos reg.	4,600	X	
Accesorios y solventes	PVC, ¼ de galón.	500	500	0	5	Fondos reg.	4,000	X	
Cable	Acerado de ½", metros	1,000	1,000	0	3	Fondos reg.	2,500	X	
Kit de material educativo		5,000	5,000	0	3	Fondos reg.	3,400	X	
Tubos	HG, 1 ¼" tipo mediano	100	100	0	3	Fondos reg.	2,200	X	
Tubo	HG, 1 ½", tipo	50	50	0	3	Fondos reg.	1,200	X	

	mediano					s reg.			
Tubo	HG, 2" tipo mediano	50	50	0	3	Fondo s reg.	2,000	X	
Tubo	HG, 2 ½" tipo mediano	50	50	0	3	Fondo s reg.	2,700	X	
Tubo	HG, 3" tipo mediano	50	50	0	3	Fondo s reg.	3,200	X	
Tubo	HG, 4" tipo mediano	50	50	0	3	Fondo s reg.	4,400	X	
Accesorios HG		100	100	0	3	Fondo s reg.	6,800	X	
Total							88,090		

Figura 38. Suministros y equipo para agua y saneamiento (*después de las primeras 72 horas hasta concluida la emergencia*).

Nota: El hipoclorito de sodio y de calcio se usan principalmente como agentes blanqueadores o desinfectantes.

3. MARCO PRÁCTICO.

3.1. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR GRAVEDAD.

A continuación, se plantean esquemáticamente todas las diferentes componentes posibles en un sistema de abastecimiento de agua por gravedad. Más adelante, esto ayudará a reconocer fácilmente las características que tiene nuestro caso práctico de un sistema de este tipo en la comunidad de Q'alché, además de permitir clasificar mejor las reformas de emergencia de corto y largo plazo.

- **EQUIPOS Y SISTEMAS INVOLUCRADOS.**

3.1.1. FUENTES DE AGUA.

- Captaciones superficiales:

- Agua de lluvia
- Arroyos y ríos
- Lagos y Embalses

- Captaciones subterráneas:

- Manantiales
- Pozos profundos
- Pozos superficiales

3.1.2. DISTRIBUCIÓN DE AGUA.

- Por gravedad

- Por bombeo:

- manual:
 - humano
 - animal
- no manual:
 - eólico
 - fotovoltaico

- diésel
- ariete hidráulico

3.1.3. CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE OBSTÁCULOS.

- Ríos o arroyos
- Barrancos
- Torrenteras
- Otros

3.1.4. COMPONENTES DEL SISTEMA.

- Tuberías:
 - Hierro galvanizado (HG)
 - Policloruro de vinilo (PVC)
 - Polietileno (PE)
- Accesorios:
 - Codos
 - Tes
 - Reducciones
 - Manguitos, etc.
- Válvulas:
 - De corte
 - De desagüe
 - De compuerta
- Caja de captación
- Caja de reunión
- Caja de rompe-presión
- Tanque de distribución
- Puntos de consumo:
 - Conexión domiciliar
 - Conexión pública:
 - Sistema de punto único
 - Fuente pública de agua

3.1.5. TRATAMIENTO DE AGUA.

- Aireación
- Sedimentación
- Filtración
- Cloración
- Desinfección solar (SODIS)
- Desinfección por yodo

3.1.6. SANEAMIENTO DE AGUA.

- Autónomo:

- Letrina:
 - Simple
 - Con foso profundo
 - Ventilada
 - Con cierre hidráulico
 - Con doble foso
 - Abonera
- Fosa séptica
- Zanja drenante
- Pozo de infiltración

- Colectivo:

- Evacuación de aguas grises:
 - Cunetas
 - Alcantarillado
- Tratamiento:
 - Sistemas de lagunaje
 - Depuradoras

3.2. DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POR GRAVEDAD EN EL CANTÓN Q'ALCHÉ.

3.2.1. INTRODUCCIÓN.

En este apartado se describe detalladamente el proceso completo de diseño e instalación de un sistema de distribución y abastecimiento de agua en una comunidad rural. Participé en el desarrollo y aplicación de este diseño durante mi estancia en el Cantón Q'alché, municipalidad de Nebaj del Departamento de Quiché, en Guatemala.

3.2.1.1. AGUA PARA LA SALUD.

Agua para la Salud es una ONG local con sede en Nebaj, financiada por Water for People, otra ONG más grande con sede en Denver, EE.UU, que a su vez financia a otras ONGs locales en otros PVD.

Desde 1994, Agua para la Salud trabaja en la municipalidad de Nebaj habilitando sistemas de abastecimiento de agua en las comunidades locales. Su meta es mejorar las condiciones de salud de dichas comunidades. Salud y

promoción de higiene son una parte integral en sus proyectos. Agua para la Salud es la primera ONG en ayudar a Q'alché en la resolución de sus problemas.

Las ideas básicas que garantizarán la perdurabilidad del sistema en el futuro serán:

- El exitoso trasvase de conocimientos para operar y mantener el sistema, la recaudación de fondos cara a necesidades como puedan ser reparaciones o labores de mantenimiento y una consistente monitorización y evaluación del sistema.
- La percepción inmediata de beneficios en la salud y en las condiciones de vida.

3.2.1.2. SITUACIÓN ACTUAL Y CARACTERÍSTICAS DE Q'ALCHÉ.

- Emplazamiento:

Q'alché es una aldea que pertenece a la municipalidad de Nebaj, situada en el departamento de El Quiché. Está ubicada a unos 2km de Nebaj, a unos veinte minutos en coche y a una hora caminando. Se encuentra emplazada a unos 1500 metros sobre el nivel del mar.

- Clima:

La temperatura es moderada y hay humedad, con lluvia abundante en los meses de Julio y Agosto. La temporada seca, con días soleados y noches frías, abarca desde principios de noviembre a finales de abril.

- Geología:

La geología de la zona se compone principalmente de roca calcárea aunque también hay restos de piedra volcánica formando parte de la tierra.

- Historia:

Q'alché se fundó en 1960. Durante la guerra civil, en la década de los '80, la comunidad se vio seriamente afectada. Ocho familias fueron asesinadas y el resto de la comunidad se dividió en dos bloques: los que apoyaban el movimiento de la guerrilla y los que trabajaban para el ejército. Hacia finales de los '80, con el conflicto cercano a su fin, muchos de los actuales residentes de Q'alché se mudaron a Nebaj, donde encontraban más seguridad y acceso a diferentes recursos como podrían ser, sin ir más lejos, agua y electricidad. Hoy en día aún hay familias que desean regresar a Q'alché de Nebaj.

- Población:

Q'alché está formado por 50 familias, unas 250 personas. La mayoría de los habitantes son indígenas maya y su primer idioma es el Ixil, uno de los más de veinte idiomas maya hablados en Guatemala. Pero también, la

mayoría de la población (más los hombres que las mujeres y niños) habla español.

Aproximadamente el 30% de los hombres de la comunidad son profesores, albañiles o comerciantes pero un elevado porcentaje de la comunidad subsiste con la agricultura. La mayor parte es población campesina, con un nivel de educación significativamente más bajo; algunos de ellos nunca han estado formalmente escolarizados. A pesar de todo, Q'alché posee un nivel de educación más alto que otras comunidades colindantes debido a su proximidad a la capital del municipio.

Las mujeres de Q'alché se dedican principalmente a las labores del hogar, como cocinar, limpiar, cuidar a los niños o incluso tejer. Sus fuentes de ingresos se limitan por lo general a lo obtenido por la venta de prendas tradicionales mayas (cortes, huipiles y rebozos) o bien por la de fruta y verdura que cultiven y vendan.

Los niños normalmente van a la escuela en Nebaj desde las ocho de la mañana hasta las doce del mediodía. La escuela está cerca del hospital de Nebaj, que está entre Nebaj y Q'alché. Después de la escuela, los niños ayudan a sus padres trabajando. Los niños van a trabajar al campo y las niñas se quedan en casa y se dedican a tejer o a cuidar de sus hermanos.

El nivel de educación de la comunidad se sitúa en la media en relación con Nebaj, la municipalidad más cercana.



Figura 39. Mujer de Q'alché tejiendo.

En cuanto a la religión, la mayoría de los residentes de Qalché son católicos o protestantes, aunque un pequeño porcentaje aún mantiene las creencias mayas.

- Agricultura:

Los alrededores de Nebaj se consideran “tierras frías” y sólo permiten una cosecha al año. En Qalché se cultiva maíz, patatas y frijoles. Muchas de las familias poseen pequeñas parcelas de terreno en las que cultivan sus productos. De todas maneras, esto en muchas ocasiones no supone la única fuente de ingresos para algunas familias pues, como ya se mencionó, hay los que trabajan de albañiles, profesores o comerciantes en Nebaj.

- Condición del Agua:

Tanto por su mala calidad como por su escasa cantidad, ha tenido el correspondiente impacto negativo.

- Calidad del agua:

La diarrea, por ejemplo, es causada por bacterias, amebas y parásitos que se encuentran en el agua sucia que los habitantes de Qalché utilizan en la actualidad. La única opción para obtener agua apta para el consumo humano directo es hirviéndola (aunque esto no elimina las partículas sólidas en suspensión ni los microorganismos más resistentes) o comprando agua embotellada, lo cual no resulta asequible.

- Cantidad de agua:

La falta de agua agudiza los problemas. Puesto que los aldeanos tienen que desplazarse para recolectar agua, la usan sólo para cubrir las necesidades primordiales. La higiene personal y la limpieza del hogar muchas veces no alcanzan niveles deseables.

La única fuente de agua que poseen viene directamente de un río cercano a la aldea. Lo que sucede es que muchas veces está contaminado, por animales o por otra aldea situada río arriba. Algunos aldeanos deben andar unos veinte minutos para llegar a esta fuente de agua. Debido a la mala calidad del agua y a la distancia a la que se encuentra, la aldea decidió acudir a una organización que les pudiese ayudar a diseñar y construir un sistema de abastecimiento de agua en su aldea.



Figura 40. Vaca muerta rodeada de basura. Imagen del río inmediatamente después de su paso por Q'alché. La siguiente aldea río abajo sufrirá las consecuencias, al igual que Q'alché sufre la contaminación del agua río arriba.

Normalmente son las mujeres las que deben ir a recolectar el agua y muchas veces van acompañadas por los niños.

- Sistema Sanitario:

En cuanto al sistema sanitario, es inexistente. No hay ni siquiera presencia de letrinas. Durante el día, los que trabajan en Nebaj pueden utilizar las letrinas públicas y los niños las de la escuela. Sin embargo, cuando se encuentran en Q'alché, se ven obligados a hacer sus necesidades en pleno campo, cerca de sus casas.

- Salud e Higiene:

El nivel de enfermedad es alto, especialmente durante la época de lluvias. Las afecciones más comunes son las infecciones tracto respiratorias, los problemas gastrointestinales y la diarrea, además de algunas infecciones cutáneas de cuando en cuando. Cabe destacar que la diarrea es la segunda causa de mortalidad infantil. Estas enfermedades están relacionadas directamente con la situación sanitaria y de agua en la comunidad.

A título orientativo, se recoge en la tabla el tiempo empleado en alcanzar un centro de salud determinado y el servicio que dicha entidad ofrece:

ENTIDAD DE SALUD	DISTANCIA A PIE	SERVICIOS OFRECIDOS
Promotor de Salud de la Aldea	0	No existe un promotor de salud en la aldea puesto que el hospital está tan cerca. De todas maneras, los aldeanos demuestran interés por plantas medicinales y prácticas mejoradas de salud que elevan su calidad de vida
Clínica de Salud	1 hora	En Nebaj se pueden encontrar doctores y farmacias
Hospital local	25 minutos	Se ofrece cualquier tratamiento de emergencia además de la posibilidad de consultar cualquier problema de salud con médicos y enfermeros que trabajen allí. Aún así, normalmente hay gran afluencia de personas, con lo que se debe esperar al menos 1 hora para ser tratados por cualquier mal menor, considerando que los casos urgentes tienen prioridad.
Otros hospitales	3h (en autobús)	Para problemas mayores, se desplazan a Quiché (3h en autobús) o a la Antigua Guatemala (6h en bus)

En cuanto a hábitos de higiene, la gente normalmente no se lava las manos después de defecar ni antes de cocinar o comer. En el mejor de los casos, se lavan las manos con las aguas contaminadas del río.

La mayoría de la comunidad tiene nociones básicas de lo que son fuentes de agua seguras o no seguras, de almacenamiento de agua y de tratamiento de la misma. Además, aldeanos con mayor formación, como por ejemplo los profesores, conocen los hábitos básicos de higiene y salud aunque, en numerosas ocasiones, no lo practican puesto que dichos hábitos no son parte de su cultura tradicional.

Es común hervir o al menos calentar el agua antes de beberla (no se suele beber agua fría). Aún así, para eliminar las bacterias, se debe hervir el agua gradualmente al menos durante diez minutos, cosa que no se suele llevar a cabo normalmente.

Los miembros del comité de agua aseguran que se lavan las manos y que hierve el agua antes de comer y beber pero, lo que sucede en la mayoría de las comunidades es que saben lo que deberían hacer pero no lo hacen realmente.

Los métodos a seguir para enseñar hábitos higiénicos y de salud a los habitantes de las aldeas serán mediante visitas a los hogares y por medio de talleres que lo promuevan y enseñen. Se espera alcanzar al menos a un representante por casa o familia (mejor si se trata de una mujer) y a unos 100 ó 150 niños. En definitiva, al menos al 50% de la población. Dicha educación se ofrecerá a través de promotores de salud de la organización y de voluntarios internacionales que colaboren con la misma.

Los temas que se tratan en la promoción de salud serán:

- Técnicas para el lavado de las manos.
- Tratamiento y manejo adecuado de alimentos.
- Tratamiento de agua.
- Técnicas apropiadas para el tratamiento de excrementos.
- Nociones de higiene personal.
- Reconocimiento de síntomas de infección.
- Síntomas de deshidratación.
- Tratamiento contra la diarrea.
- Información sobre parásitos en el agua.
- Agua en relación con los animales.
- Métodos para tomar la temperatura.
- Tratamiento de basuras.
- Remedios naturales o con medicinas tradicionales.

3.2.2. DESARROLLO DEL PROYECTO.

3.2.2.1. TRÁMITES PRELIMINARES.

- Planteamiento del problema:

En primer lugar, representantes de la comunidad se desplazan hasta Nebaj, a la oficina de Agua para la Salud, para plantear las carencias existentes en su comunidad y para transmitir el deseo de instalar un sistema de distribución de agua y saneamiento para sus hogares, mejorando su calidad de vida. El principal problema que se plantea es que la distancia a la fuente de agua segura más cercana es excesiva.

La organización estudia cada petición recibida (existe una lista de espera formada por varias comunidades) y, en función de distintas condiciones como pueden ser el grado de necesidad de la comunidad, la magnitud del posible proyecto, los fondos actuales accesibles, etc., se decide proceder o no con el proyecto.

De esta manera, se decide comenzar el proyecto de construcción de un sistema de abastecimiento de agua en Q'alché junto con un programa de educación sanitaria y promoción de salud será un sistema que estará regido totalmente por la comunidad, al margen de la Alcaldía de la Municipalidad o del Gobierno Central.

- Comité de Agua. Gerencia, Operaciones y Mantenimiento del Sistema de Distribución de Agua.

El Comité de Agua, creado en el 2002 por votación de los miembros de la aldea, está formado por habitantes de Q'alché. Su papel, fundamental, es el de representar al resto de la comunidad cara al exterior además de gestionar el sistema de abastecimiento instalado.

Está formado por los siguientes miembros:

Presidente	José Raimundo Brito
Vicepresidente	Pedro Cedillo
Tesorero	Miguel Santiago
Vocal I	Andrés López Guzmán
Vocal II	Andrés Bernal
Vocal III	Francisco Paz

El Comité de Agua desarrollará un conjunto formalizado de principios que gobiernan el empleo del sistema y un conjunto de reglas y regulaciones que contemplan la gestión y uso del mismo. Desarrollará también las líneas generales a seguir para llevar a cabo cualquier operación, labor de mantenimiento o reparación del sistema. El comité contará con un proceso de entrenamiento de nuevo personal destinado a operar el sistema de abastecimiento de agua o para su mantenimiento, por si resultase necesario ponerlo en práctica.

En el caso de Q'alché, no se aplicará una tarifa prefijada que cubra el coste de reparaciones y labores de mantenimiento cuando se den, sino que cuando surja una necesidad en el sistema de este tipo, el comité lo comunicará con el resto de la comunidad por medio de una reunión oficial donde se decidirá la cantidad de dinero que cada familia tendrá que aportar. El comité de agua abre una cuenta bancaria donde ingresará los fondos destinados a la reparación y mantenimiento del sistema.

3.2.2.2. EQUIPOS Y SISTEMAS INVOLUCRADOS.

En la tabla se incluyen los equipos e instalaciones que puede tener un sistema de distribución de agua por gravedad, concretando para el sistema específico de Q'alché.

FUENTES DE AGUA	- Captación subterránea: manantial. - Se descarta el uso de agua del río porque está contaminada.
DISTRIBUCIÓN DE AGUA	- Por gravedad. No habrá bombeo.
CONDUCCIÓN. OBSTÁCULOS.	- Se atraviesa una carretera.
COMPONENTES DEL SISTEMA	- Tuberías: PVC y HG, distintos diámetros
	- Accesorios: codos, tes.
	- Válvulas
	- Caja de captación
	- Tanque de distribución (5m ³)
	- Caja rompe-presión (1m ³)
TRATAMIENTO DEL AGUA	- Ninguno
SANEAMIENTO DEL AGUA	- Autónomo: Letrina y fosa de absorción para aguas grises de la pila.

3.2.2.3. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA.

- ESTUDIO DE FUENTES DE AGUA:

En primer lugar, se estudia la fuente de donde se piensa obtener el agua para la comunidad. En el caso de Q'alché consiste en un manantial de agua situado a una distancia media de una hora a pie de la aldea, cuesta arriba. La comunidad ya se encargó de comprar dicho nacimiento, con lo que legalmente les pertenece y pueden hacer uso legítimo de él sin ningún problema.

- Flujo de agua:

La comunidad pedía un proyecto que abasteciese de agua a cada casa por medio de un grifo para cada familia. Con lo cual, se necesitaba realizar un estudio del flujo de agua proveniente del manantial para asegurarse que dicha demanda de agua se podía cubrir. Como ya se indicó, son 50 familias las que constituyen la población de Q'alché, es decir, unas 250 personas considerando cinco personas por familia (estimación oficial del censo). En concreto, son 247 habitantes. Puesto que se requieren 80 litros / persona*día, considerando también en cubrir las necesidades de los próximos veinte años, el caudal total de agua necesaria será:

$$Q_{\text{total necesaria}} = 247 \text{ personas} \cdot 80 \frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}} \cdot 2 \cdot \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ segundos}} = 0,46 \text{ l/s}$$

El factor de crecimiento refleja un 3% de crecimiento anual, lo que supone $1,0320 = 1,81$, un factor de aproximadamente 2 para el cálculo de crecimiento a 20 años. Este es el cálculo que nosotros aplicamos.

Nuestra medida de caudal de agua es:

$$Q = 2 \text{ l/s}$$

Se puede asegurar que, en cuanto al flujo de agua disponible, las condiciones para un sistema cerrado con depósito de reserva serán muy viables. La filosofía de Agua para la Salud y de muchas otras ONGs dedicadas a la distribución y abastecimiento de agua es que si no se puede llevar agua a todas las viviendas, no se lleva a ninguna. Esto evita las evidentes trifulcas internas que surgirían si sólo unos pocos disfrutasen de este bien. Aún así, en algunos sistemas de abastecimiento de agua con caudal insuficiente (en temporada seca), se opta por temporizar el abastecimiento. La comunidad se divide en sectores y a cada uno de estos le corresponde un intervalo de tiempo al día en el que el agua les llega a sus casas. Pasado este tiempo, el agua se corta en este sector y se dirige a otro de tal manera que, a lo largo del día, toda la aldea ha tenido acceso de manera equitativa al agua. Los horarios que le corresponden a cada sector van rotando para que nadie considere que sale desfavorecido.

Sobre todo en los sistemas que se construyen ahora, muchas veces se demanda un abastecimiento de agua en cada vivienda frente al abastecimiento de agua en un punto público, como puede ser una fuente, aún si se tiene que aplicar medidas como la de temporizar el sistema. Esto es debido a que se ha dado una situación de “inflación en el desarrollo”. El sistema será rechazado si no cumple esta condición porque la gente ya no se conforma con menos.

• Calidad del agua de la fuente:

Como ya he mencionado, la principal necesidad de construir el sistema de abastecimiento es que no se tenía un acceso cercano a agua que no estuviese contaminada. Por esta razón, vamos a comprobar que el agua que ofrece dicho manantial es, en efecto, apta para el consumo humano. Para ello realizamos los análisis explicados en el marco teórico obteniendo los siguientes resultados.

- Análisis de presencia de NOx → Negativo. El indicador no cambia de color, con lo que se demuestra que no hay rastro de NOx en el agua.
- Análisis de presencia de organismos patógenos → Negativo. Después de pasadas 24 horas, la muestra de agua no presentaba variación. Ni tan siquiera aparecían unas pocas partículas en suspensión.

Después de los resultados obtenidos de estos dos análisis, que representan las únicas fuentes de contaminación existentes en la zona, se demuestra que se puede destinar esta agua para el consumo humano.

3.2.2.3.2. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Se comprueba que existe al menos una diferencia de cotas mínima, requerida para que pueda funcionar un sistema de abastecimiento de agua por gravedad entre el nacimiento y el tanque de distribución al igual que entre éste y las casas. En efecto, desde este punto de vista, el sistema es viable.

En el proyecto de Q'alché, el Comité de Agua formó parte del estudio topográfico del terreno. No sólo eligieron el camino por donde las tuberías iban a ir sino que, de hecho, ya habían planeado dónde construir el tanque de distribución y habían comprado una parcela destinada a este propósito. Además, nos entregaron un esquema en el que se representaban los tres ramales necesarios para abastecer a toda la comunidad, contemplando la localización de las viviendas ya construidas al igual que las de futura construcción. El comité consultó la idea con todos los miembros de la aldea para obtener su consentimiento puesto que la comunidad es una parte muy activa del proyecto.

A continuación, se incluye una muestra de la tabla de datos topográficos, en concreto de la sección que va desde la fuente hasta el tanque de distribución. En el apéndice 6 se incluye la tabla completa con los datos topográficos de todo sistema.

PUNTO	SEGMENTO	PROYECCIÓN (cm)	DISTANCIA	ORIENTACIÓN	ÁNGULO	DELTA	ESTE (m)	NORTE (m)
Fuente a tanque								
A-0	0	0	0	0	0	0	0	0
A-1	11,7	1,2	11,7	0	-1	-0,20	11,70	0,00
A-2	16,5	1,6	28,2	332	-6,5	-1,87	26,17	-7,70
A-3	33,9	3,4	62,1	6	-5	-2,95	59,76	-4,17
A-4	50	5,0	112,1	6	-5,5	-4,79	109,26	1,04
A-5	50	5,0	162,1	6	-6	-5,23	158,71	6,23
A-6	11,8	1,2	173,9	0	-3	-0,62	170,49	6,23

CASAS SUMINISTRADAS	CASAS A SUMINISTRAR	MARCA O HITO
47		
		nacimiento - der. montaña
	47	seguir cauce del río
	47	der. sauce + río - árbol
	47	melocotones 270'
	47	izq. Río . Valla enfrente
	47	izq. Río . Cruzar valla, parar en campo maíz
	47	campo frijoles negros
	47	izq. río - lugar para construir un tanque -

El significado de cada columna es el siguiente:

Punto:

A cada punto del sistema que se haya medido se le asigna una nomenclatura concreta, arbitraria, cuya finalidad es permitir ubicar cualquier punto en un tramo específico del sistema. Así, por ejemplo, el tramo que va desde la fuente de agua hasta el tanque de distribución se designa por la letra "A" seguida de un número. Estos van en orden creciente a medida que avanzamos corriente abajo. Con lo cual, si vemos un punto con esta nomenclatura sabremos de inmediato donde se sitúa.

Segmento:

Es la proyección sobre el plano horizontal de la distancia entre dos puntos consecutivos.

Proyección:

Es igual que el segmento solo que se ha cambiado de unidades pasando de metros a centímetros para ponerlo a escala. (La escala que se empleará es de 1:1000)

Distancia:

Este valor indica la distancia que existe entre un punto y origen de coordenadas sobre el plano horizontal, en nuestro caso el manantial.

Orientación:

Refleja la dirección geográfica que va a tomar la tubería. Se mide empleando una brújula.

Ángulo:

Representa el desnivel existente entre puntos consecutivos. Se mide con el nivel de Abney.

Delta:

Es la diferencia de cotas entre dos puntos consecutivos, hallado trigonométricamente mediante la fórmula:

$$\delta = \text{segmento} \cdot \text{sen}\theta$$

Este y Norte:

Son valores que designan las referencias geográficas necesarias para poder dibujar el plano del sistema.

Casas suministradas y Casas a suministrar:

Este valor lleva la cuenta de los puntos de servicio que se han instalado y que faltan por instalar respectivamente. En nuestro caso, los puntos de servicio son, en concreto, grifos.

Marca o Hito:

Esta columna se reserva para incluir un breve texto que describa el entorno de un punto en concreto, como pueden ser marcas características o llamativas del terreno. Esto será muy útil para volver a situar con rapidez un punto que ya se haya medido.

- Plano del sistema:

A partir de la tabla de datos topográficos, podemos representar un plano de la zona a escala, donde vienen representados los ramales, las viviendas, el tanque de distribución y caja de captación. El origen está situado en el nacimiento.

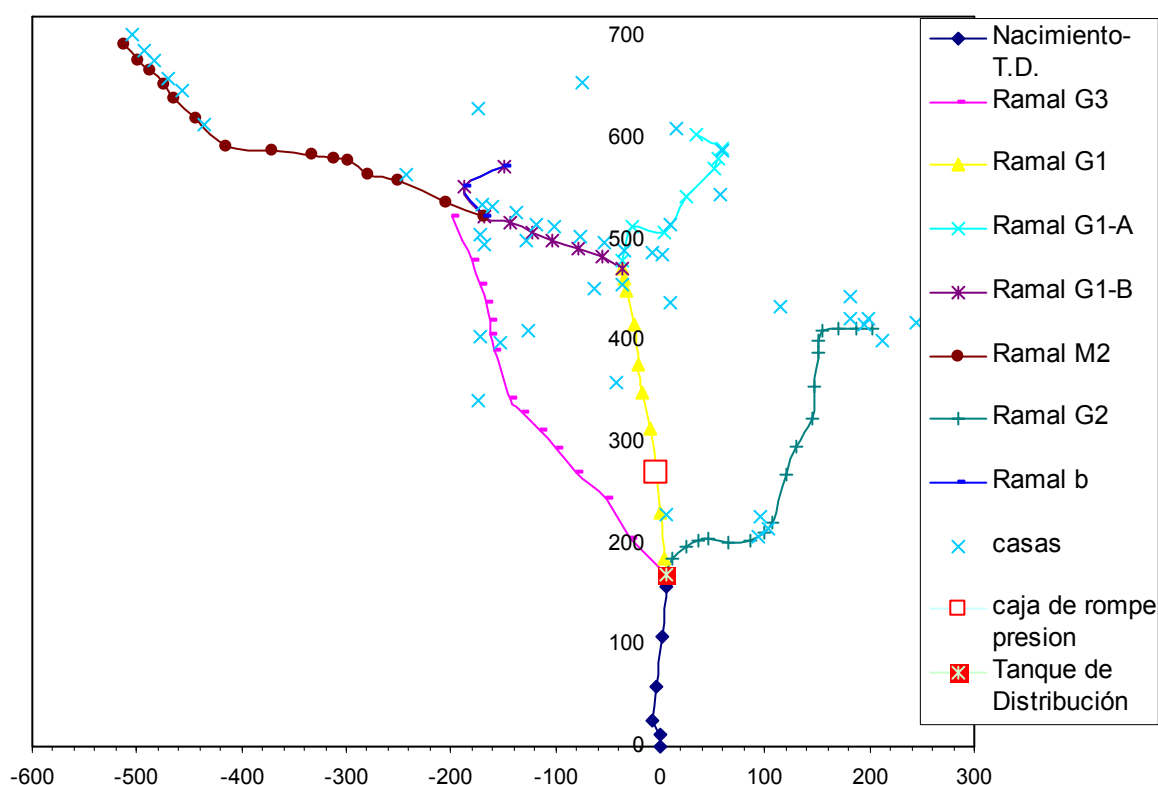


Figura 41. Plano del sistema.

El único obstáculo notable en el recorrido del sistema se trata de una carretera que se debe atravesar. Afortunadamente, la solución a este problema es muy fácil. Consiste en llevar la tubería por debajo de la carretera por un conducto ya construido que tiene como finalidad permitir que el

riachuelo pase por debajo sin interrumpir su camino. Este conducto se situa al final del ramal G1, con lo que su emplazamiento nos es muy conveniente.

3.2.2.3.3. ESTUDIO HIDRÁULICO.

Gracias a los datos topográficos conseguidos y a los relacionados con el caudal del nacimiento, podemos realizar los cálculos pertinentes para diseñar la hidráulica del sistema. Para resolver el problema de hidráulica nos basaremos principalmente en el uso de un sencillo programa de Excel en el que se introducen los datos topográficos e hidráulicos.

El programa nos calcula las cargas hidrostáticas, las cargas residuales y la velocidad del fluido para un cierto caudal. De antemano se conoce dicho caudal porque en primer lugar depende del caudal que nos ofrezca la fuente de agua del sistema y, en segundo lugar, en el número de grifos que se instalarán a los que llega una cantidad conocida de agua, en nuestro sistema 0,1l/s en concreto. Conocemos el diámetro de las tuberías puesto que se fija de antemano arbitrariamente. También conocemos la pendiente que seguirá la tubería gracias al estudio topográfico.

Buscamos obtener una carga residual de mínimo 10 mca en cada casa (para que siempre tengan un mínimo de presión) y una carga hidrostática que no supere los 40 mca en las viviendas y los 100mca en cualquier otro punto del trazado de tubería, para no deteriorar o romper el sistema por tener excesiva carga. En cuanto a la velocidad del agua, buscamos que permanezca entre 0.7m/s y 2m/s, para que ni haya sedimentaciones por ir demasiado lento o erosiones por ir demasiado rápido.

A continuación, se incluye una muestra de las tablas hidráulicas mencionadas. Como en el caso anterior, la muestra representa la información de la parte del sistema referente a la sección que va de la fuente al tanque de distribución. Se pueden observar en su totalidad en el apéndice 7.

DIAMETRO (mm)	CAUDAL (l/s)	CARGA RESIDUAL (mca)	CARGA HIDROSTÁTICA (mca)
			0
44	2	-0,29	0,20
44	2	0,88	2,07
44	2	2,41	5,03
44	2	5,09	9,82
44	2	8,21	15,05
44	2	8,33	15,66

VELOCIDAD (m/s)	COTA RELATIVA(m)	LINEA PIEZOMÉTRICA (m)
	1000	1000
1,32	999,80	999,51
1,32	997,93	998,81
1,32	994,97	997,38
1,32	990,18	995,27
1,32	984,95	993,17
1,32	984,34	992,67

Seguidamente, se explica cómo se halla cada una de las columnas:

Diámetro (mm):

Se refiere al diámetro de tubería. Es impuesto de antemano, de manera intuitiva. Si resulta que se obtienen pocas o excesivas pérdidas de carga, se cambian los diámetros establecidos por otros que otorguen mejor comportamiento.

Caudal (l/s):

Como ya hemos comentado, lo conocemos desde un inicio, debido a que es el que aporta la fuente de agua que hemos captado. A medida que se van abasteciendo los puntos de servicio del sistema, del caudal total se va restando el caudal distribuido. Es decir, que si estamos conduciendo un caudal Q conocido y se abastece de agua un grifo, a partir de ese punto sabemos que contamos con un caudal de $Q - 0,1(l/s)$.

Carga residual (mca):

Se calcula simplemente restando el valor de la línea piezométrica en un punto la cota relativa de dicho punto.

Carga hidrostática (mca):

Es la diferencia entre la altura total (inicial) y la cota relativa del punto en el que nos encontremos.

Velocidad (m/s):

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$v = \frac{Q}{\pi \left(\frac{D^2}{4} \right)} \cdot 1000$$

Simboliza el caudal dividido por la sección de la tubería. Se multiplica por 1000 simplemente para que las unidades obtenidas sean de m/s.

A partir de los datos reunidos, se pueden dibujar los perfiles hidráulicos del sistema.

Cota relativa (m):

Se obtiene restando a la cota del punto anterior la diferencia de cotas entre puntos, es decir, la δ calculada multiplicando la distancia sobre el terreno entre punto y punto por el seno del ángulo de inclinación.

Línea Piezométrica (m):

La fórmula empleada para calcular este valor es la que mencionamos en el **apartado 2.6.6.3 del marco teórico**. En concreto, resulta como:

$$\text{Punto Línea Piezométrica} = \text{Punto Línea Piezométrica}_{\text{anterior}} - \frac{10,9 \cdot Q^{1,85}}{150^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot \text{segmento}$$

El coeficiente 150 en el denominador hace referencia al material del que está formado la tubería. Está contemplado para incluir tanto PVC como HG. El segmento se refiere a la distancia entre dos puntos consecutivos proyectada sobre el plano horizontal.

3.2.2.3.4. PERFILES HIDRÁULICOS. TANQUE DE ROMPE-PRESIÓN.

A partir de las tablas de valores topográficos e hidráulicos, trazamos los perfiles hidráulicos de las distintos ramales del sistema. En los perfiles se representan dos líneas: una simboliza la altitud y la otra la línea piezométrica. En los ejes de coordenadas se representan, por una parte la distancia recorrida por la tubería (el eje de abscisas) proyectada sobre el plano horizontal y, por otra, la cota relativa (altitud relativa) en metros (eje de ordenadas). La línea de altitud se refiere a la de la tubería y refleja la altura por la que pasa. La línea piezométrica, como ya se explicó en el apartado teórico, simboliza la carga hidrostática menos las pérdidas de carga. El perfil hidráulico puede ser interpretado como la vista que tendríamos del sistema si hiciésemos un corte de sección a la montaña.

Condiciones de funcionamiento del sistema:

Se deben tomar en consideración dos casos: uno en el que el sistema está abierto (agua fluyendo) y otro en el que está totalmente cerrado (no hay descarga de agua).

- **Cerrado:** la presión que aguantan las tuberías es la presión estática, es decir, la máxima posible. En este caso, los límites de presión con los que nosotros trabajamos son: la presión estática no puede ser superior a 40m en los grifos ni superior a 100 en un tramo normal de tubería.

- **Abierto:** la presión que estudiamos en este caso es la representada por la línea piezométrica. Recordamos que se obtiene restando de la presión estática las pérdidas de carga. Evidentemente, siempre estará por debajo de la línea de presión estática ya que siempre existirán pérdidas de carga, con lo que no habrá problemas de sobrepresión si en el caso cerrado no los hubieron. Lo que se debe cumplir es que la línea piezométrica nunca sea negativa, es decir, que se encuentre por debajo de la línea de cota.

Pongamos un breve ejemplo: si el tanque inicial se encuentra a 1000m de altura y la primera casa está a 980m, la presión estática será de 20m, cantidad menor que la máxima de 40m, con lo que no habría problema. Sin

embargo, con la misma situación del tanque inicial, si la casa está ahora a 900m, la presión estática que habrá en ésta será de 100m, cantidad superior a la que aguantaría un grifo. Con lo cual, para esta casa se debería instalar una caja de rompe-presión a una altura de 930m de tal manera que la presión estática en la casa sea sólo de 30m. (También se podría solventar colocando una válvula de globo que disipase la presión excedente, solo que esta opción es inviable debido al alto coste que supondría implantarla).

La presión estática dependerá de la distancia vertical al punto más cercano donde la presión sea la atmosférica. Las cotas que se emplean siempre son relativas.

Realmente, la máxima presión que aguantan los grifos es más de 40m (la cantidad exacta depende del fabricante, aunque se suele poder llegar a unos 75-80 metros) y la de las tuberías, dependiendo del material del que estén hechas, puede aguantar incluso más de 150m. Lo que pasa es que por razones de seguridad se toman unos límites algo más conservadores.

A continuación se incluyen los perfiles hidráulicos de distintos tramos del sistema. Los ramales conservan la misma nomenclatura que en el plano del sistema incluido en el estudio topográfico.

- Ramales G1 y G1-A:

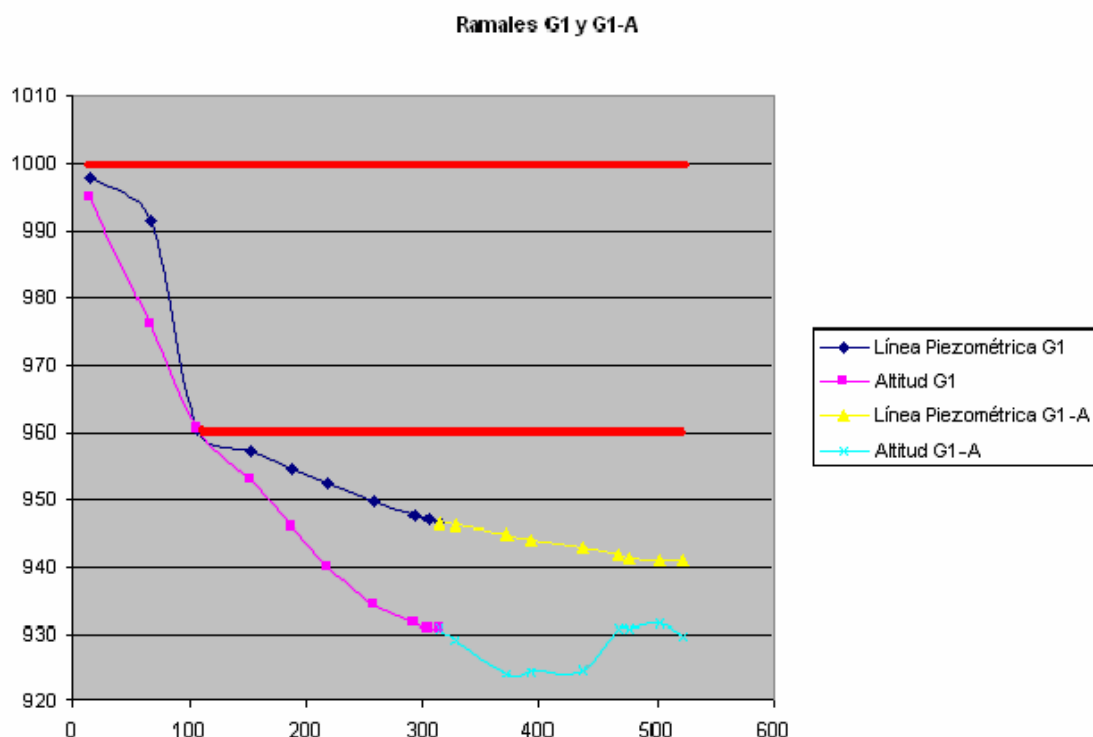


Figura 42.

Las líneas rojas representan líneas estáticas de presión (presión atmosférica o de referencia). Hay dos líneas porque existen dos puntos que tienen dicha presión y se toman como referencia: el tanque de distribución (a

1000m) y la caja de rompe-presión (a 960m). Nótese cómo la línea piezométrica y la línea de cota coinciden en los puntos de presión atmosférica. Se comprueba que la presión estática (distancia vertical entre la línea de cota y la línea roja inmediatamente sobre ella) nunca supera los 40m. El tanque de rompe-presión se sitúa en el lugar de máxima presión estática recomendable (40m). Si no se hubiese situado aquí, todos los puntos de cota más baja superarían los 40 m de presión estática poniendo en peligro la integridad del sistema. El tanque de rompe-presión se ha cuidado de colocar en un lugar donde no estorbe a ningún miembro de la comunidad y donde todos los habitantes estuviesen de acuerdo. También se ha cuidado de no situarlo muy cerca de ninguna casa puesto que un grifo debería tener no menos de 10m de presión para su idóneo funcionamiento y la bajada de presión que se produciría en las proximidades empeoraría el funcionamiento.

En cuanto a la línea piezométrica, siempre es positiva, con lo que no dará problemas de succión (mencionados en el apartado teórico, bajo el apartado de presiones negativas).

En esta sección existe una peculiaridad y es que la sección G1-A, color turquesa, es un perfil en "u" con lo que podría ser un problema cara a la formación de bloqueos de aire. Afortunadamente, el sistema finaliza justo después de la "u". Al no continuar éste y volver a bajar, no hay espacio para que se forme el posible bloqueo de aire, con lo que podremos afirmar directamente que no habrá ningún bloqueo de aire que imposibilite el flujo de agua y no tendremos que realizar ningún cálculo para demostrarlo.

- Ramal G1 y G1-B:

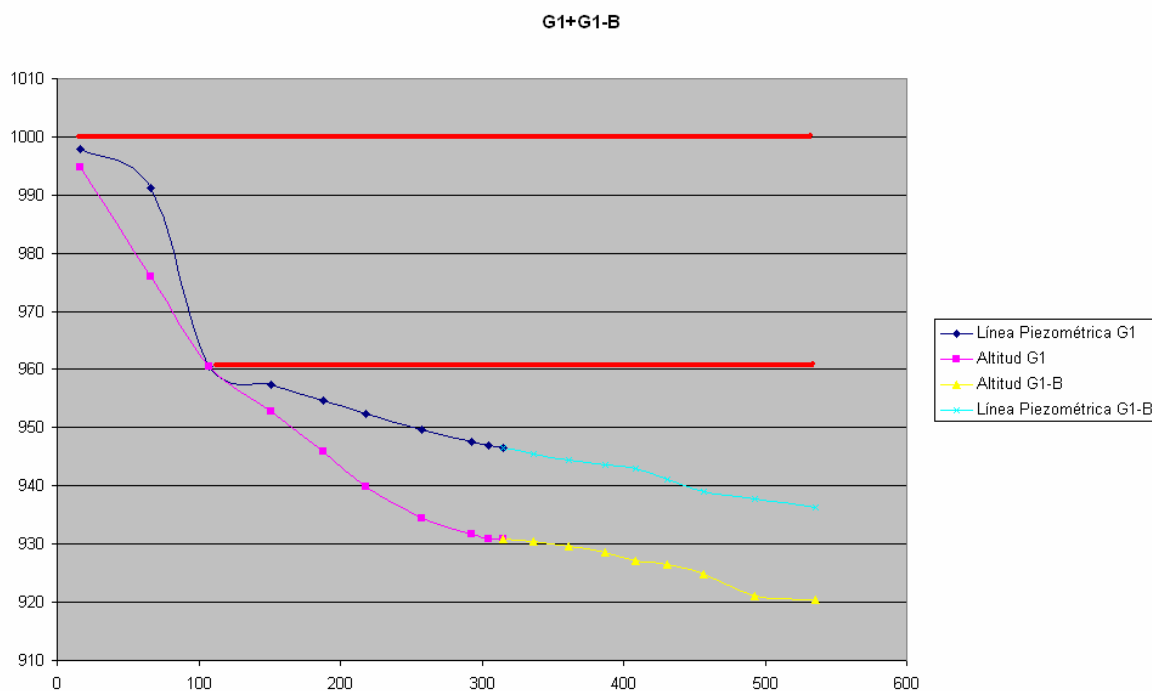


Figura 43.

En esta sección se vuelven a apreciar las dos líneas de referencia de presión estática. La caja de rompe-presión consigue que los valores de presión estática que aguanta la tubería sean permisibles.

La línea piezométrica no toma nunca valores negativos y siempre, salvo en la caja de rompe-presión, permanece a una presión suficientemente alta como para que puedan funcionar propiamente los grifos.

- Ramal G2:

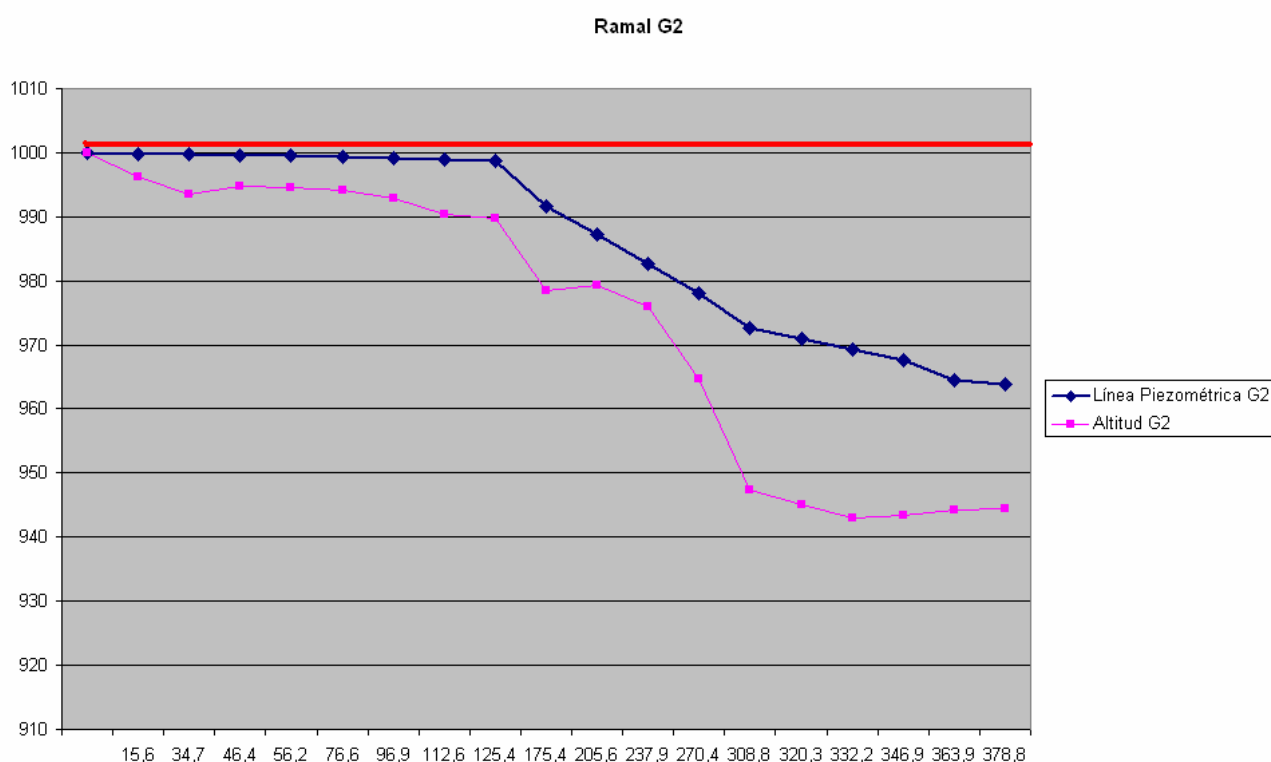


Figura 44.

En este ramal no hay ninguna zona conflictiva. De hecho, el punto en el que se separa de la tubería principal está antes de la caja de rompe-presión porque no se requiere su función ya que no tenemos ningún problema con las presiones estáticas ya que están en todos los puntos dentro de los valores permitidos.

La línea piezométrica cumple los requisitos necesarios y oscila entre un valor entre los 8-10 metros y los 20 metros, con lo que el funcionamiento será adecuado.

- Ramal G3:

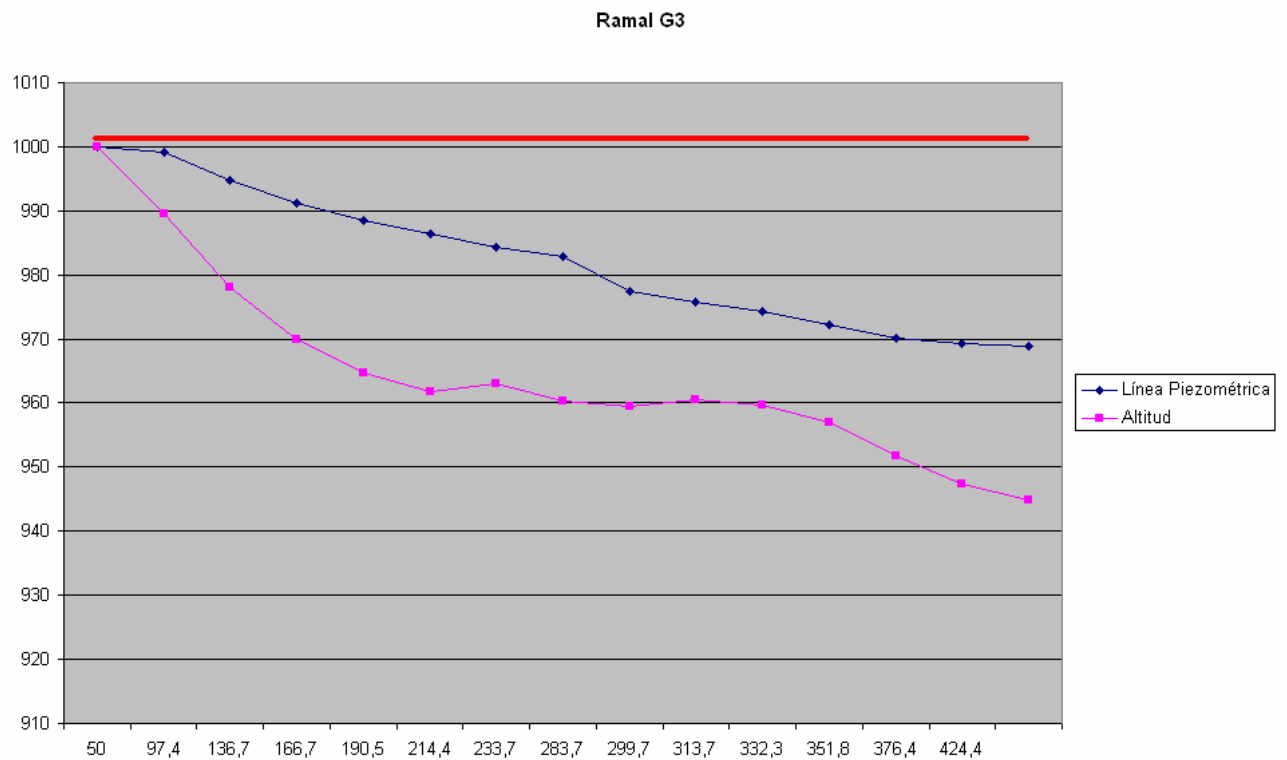


Figura 45.

En este ramal, la línea piezométrica no supone ningún problema pero la presión estática que aguantará el sistema supera los 40m. Aún así, llega a ser de unos 55metros, con lo que sigue dentro del valor de seguridad válido. Así que no habrá que tomar ninguna medida correctora.

La línea piezométrica, al igual que en los demás casos, está en orden.

3.2.2.3.5. DISEÑOS Y ESQUEMAS.

Una vez incluidos el estudio topográfico y el hidráulico, presentamos a continuación los diseños y detalles de la instalación y de sus componentes más destacados.

• Detalle de tramo nacimiento - tanque de distribución:

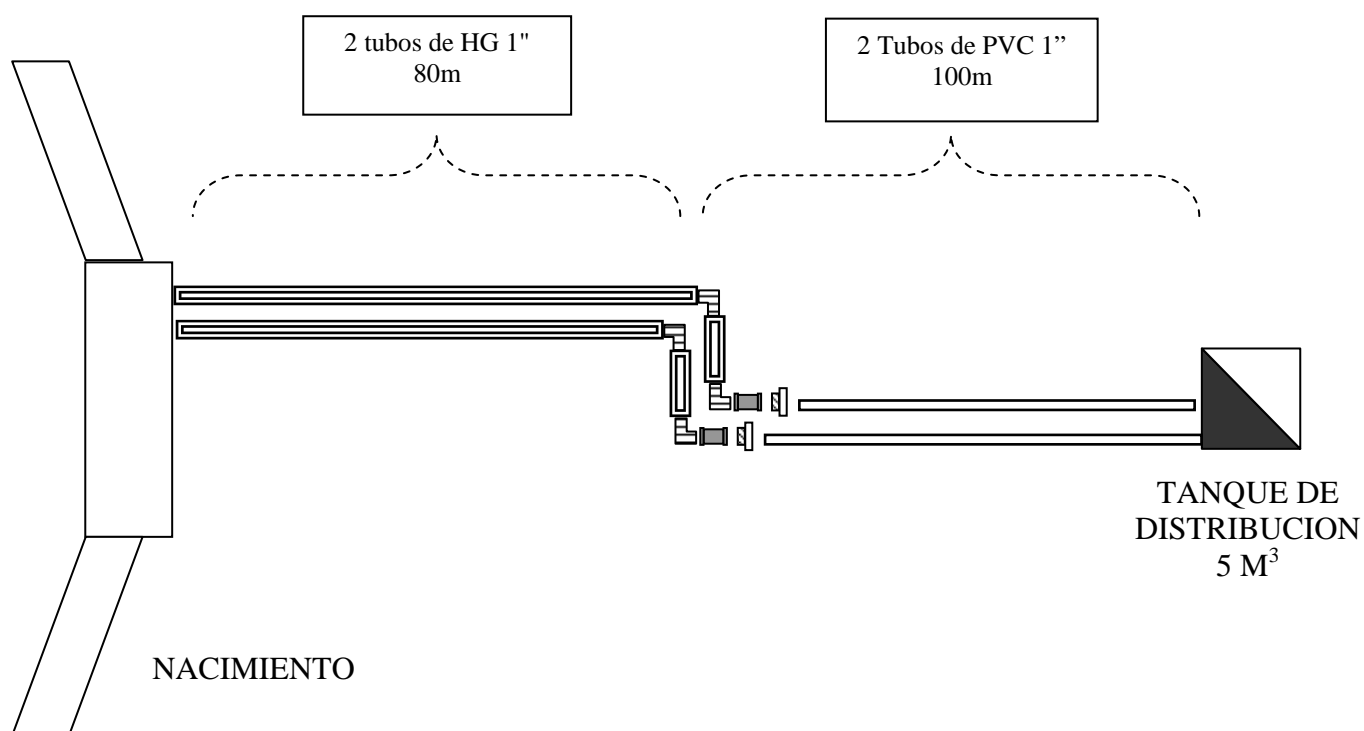


Figura 46.

Lista de materiales.

TUBOS	DIMENSIONES	CANTIDAD
HG	1"	28
PVC	1"	34
ACCESORIOS	DIMENSIONES	CANTIDAD
Adaptador macho	1"	4
Copla HG	1"	2
Codos HG 90	1"	2
Codos HG 45	1"	6

COLUMNA DE HORMIGÓN (30 x 30 x 70)		
TUBOS	DIMENSIONES	CANTIDAD
HG	1"	28
PVC	1"	34

En el nacimiento, se construye una caja de captación para recolectar el agua de la fuente para poder canalizarla y, al mismo tiempo, proteger dicha fuente de elementos externos que puedan resultar perjudiciales para la estabilidad del sistema.

A continuación se incluye una fotografía de la caja de captación construida en Q'alché.



Figura 47. Caja de captación – Q'alché

Seguidamente, en la siguiente página se incluye el diseño del tanque de distribución, donde se acumulará el agua que cubra las necesidades de las horas punta.

- Tanque de distribución de 5m³, con dos entradas y tres salidas.

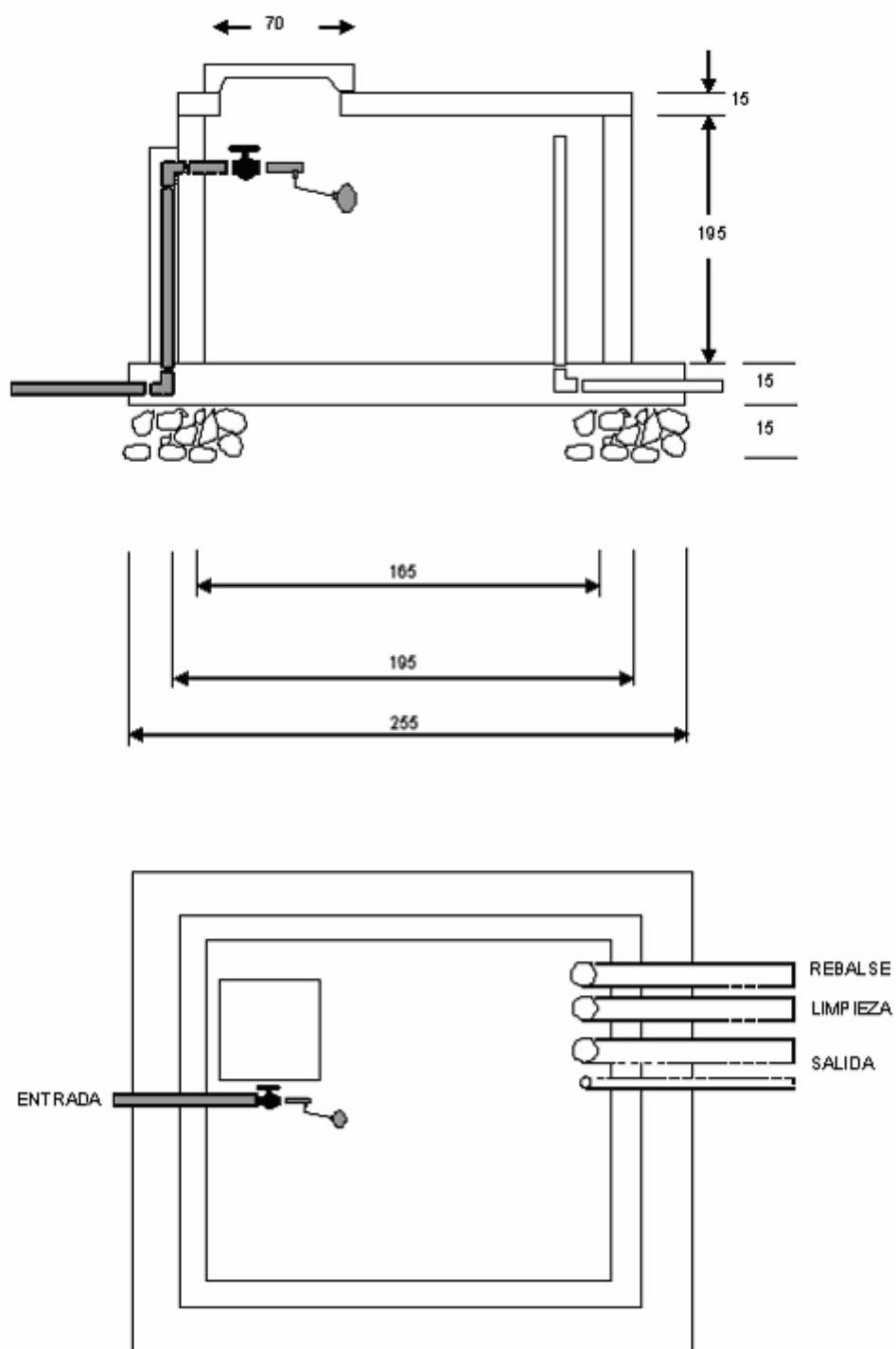


Figura 48.

A continuación, realizaremos unos cálculos breves que justifiquen que el volumen elegido para el tanque de distribución, $5m^3$, es adecuado para este sistema.

Primero calculamos el tiempo que tarda el depósito en llenarse:

$$V_{\text{depósito}} = 5m^3 = 5000l$$

$$Q_{\text{fuente}} = 2l / s$$

Comprobamos cuánto tiempo se tardaría en conseguir llenar el volumen del depósito al ritmo que abastece la fuente:

$$Q = 2l / s \cdot t_{\text{llenado}} = 5000l$$

$$t_{\text{llenado}} = 2500s = 41,7 \text{ minutos}$$

Ahora veremos cuál es el caudal máximo que puede ser consumido por la aldea:

$$Q_{\text{máximo}} = 80 \frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}} \cdot 250 \text{ personas} = 20.000 \text{ litros} = 20m^3$$

Del depósito salen tres tuberías con los siguientes diámetros:

$$D_1 = D_3 = 1 \frac{1}{2}'' = 3,81\text{cm}$$

$$D_2 = 1 \frac{1}{4}'' = 3,175\text{cm}$$

Así que el caudal máximo que podrán distribuir será:

$$Q_{\text{máximo salida}} = v_{\text{máxima}} (m/s) \cdot \sum A(m^2) = v_{\text{máxima}} (m/s) \cdot \frac{\pi \sum_{i=1}^3 D_i^2}{4} = 2 \cdot 31,54 \cdot 10^{-4} = 6,31 \cdot 10^{-3} m^3 = 6,31l / s$$

Como al depósito entran 2l/s, será como consumir 6,31-2=4,31l/s y considerar que solo hay salida de agua. De esta manera, se tardaría:

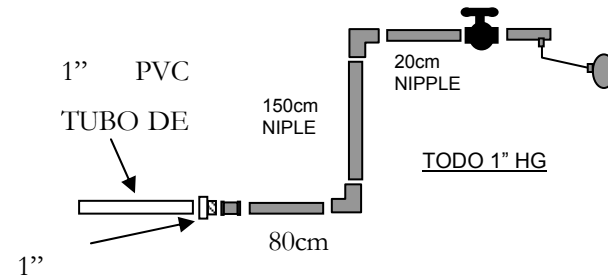
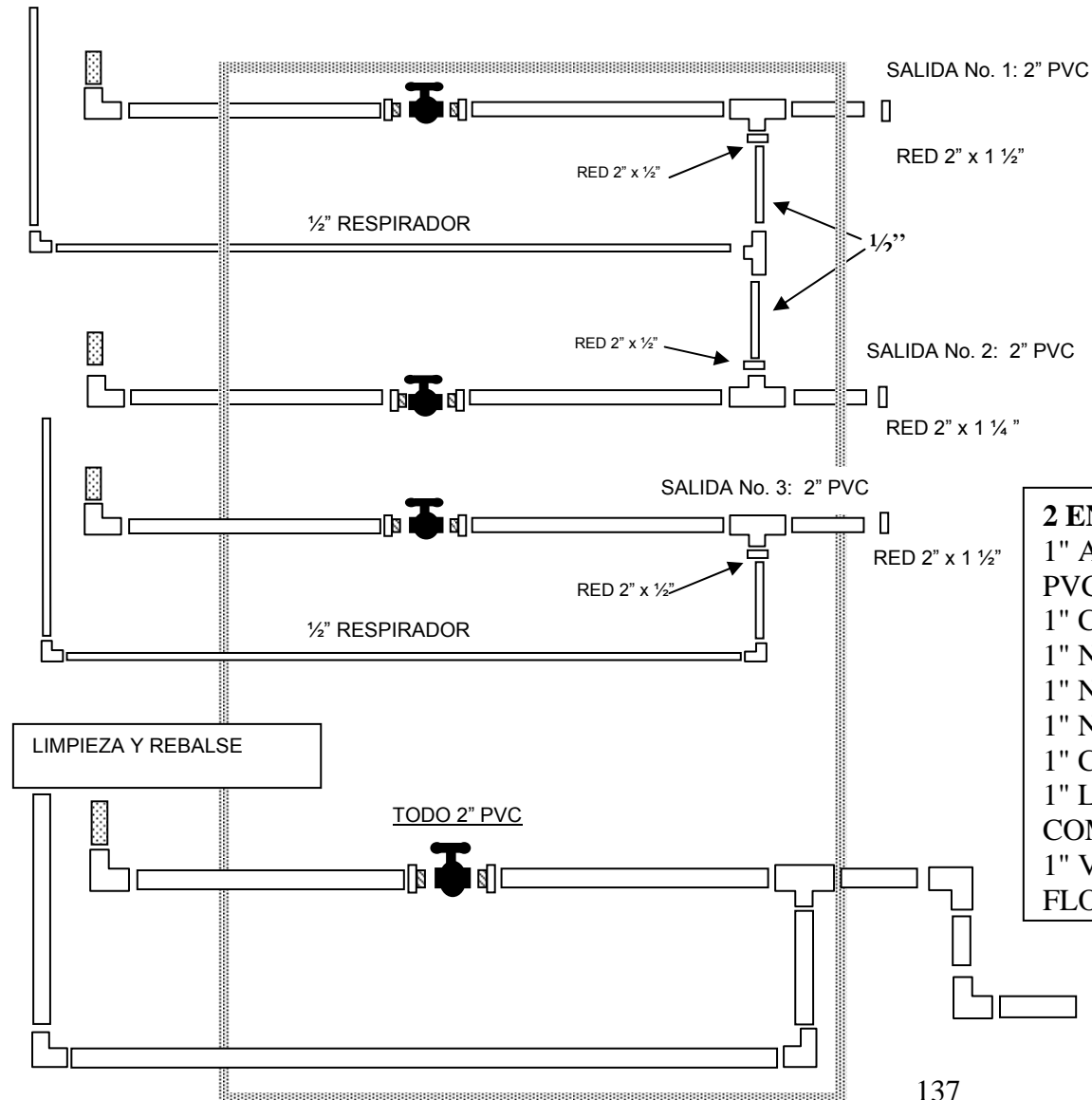
$$Q_{\text{máximo salida}} \cdot t_{\text{vaciar depósito}} = 5000l, \text{ con lo que, despejando tenemos que}$$

$$t_{\text{vaciar depósito}} = 1160s \cdot \frac{1 \text{ min}}{60s} \approx 19 \text{ minutos}$$

Así pues, si se diese el caso de que la hora punta de consumo se prolongase durante más de 19 minutos, sólo habría que esperar en torno a unos 15 hasta que se pudiese disponer de agua de nuevo. (En 15 minutos se llenaría un tercio del tanque). De esta manera se concluye que la elección de volumen del depósito es la acertada.

- Caja de válvulas para el tanque de distribución. (Fig 49.)

2 ENTRADA S DE 1"



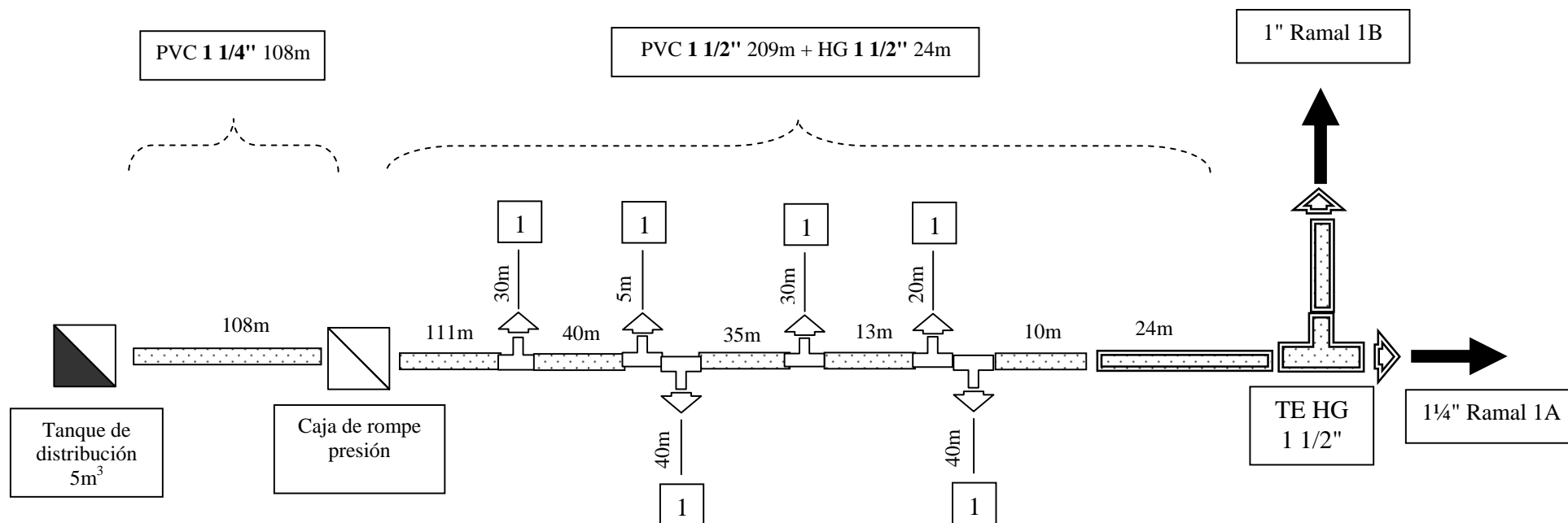
2 ENTRADAS DE 1":

1" ADAPT. MACHO
PVC -2
1" COPLA HG -2
1" NIPLE 20cm -2
1" NIPLE 80cm -2
1" NIPLE 150cm -2
1" CODO 90 HG -4
1" LLAVE
COMPUERTA -2
1" VALVULA DE
FLOTE -2

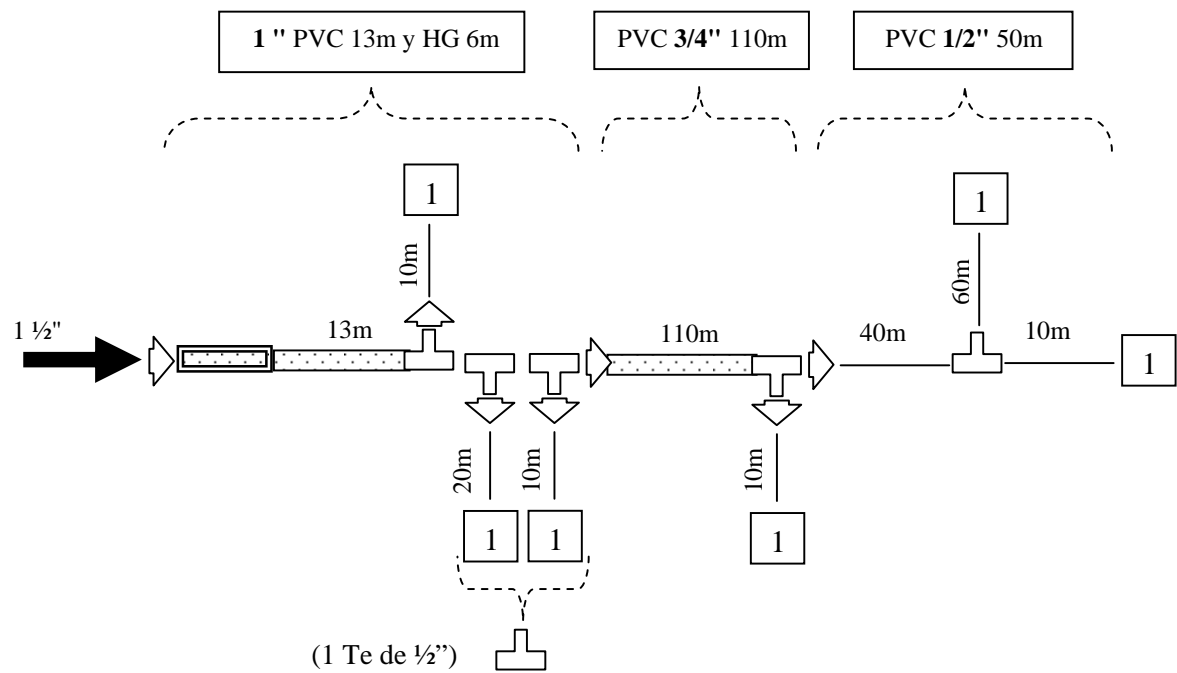
**3 SALIDAS DE 1 1/2 1 1/4 Y
1 1/4:**

2" CODO 90 PVC -8
2" TE PVC -4
2" x 1/2" REDUCIDOR -3
2" x 1 1/2" REDUCIDOR -2
2" x 1 1/4" REDUCIDOR -1
2" TUBOS 250 psi -3
1/2" CODO 90 PVC -3
1/2" TEE PVC -1
1/2" TUBO 315 psi -1
2" ADAPT. MACHO -8
2" LLAVE DE
COMPUERTA -4

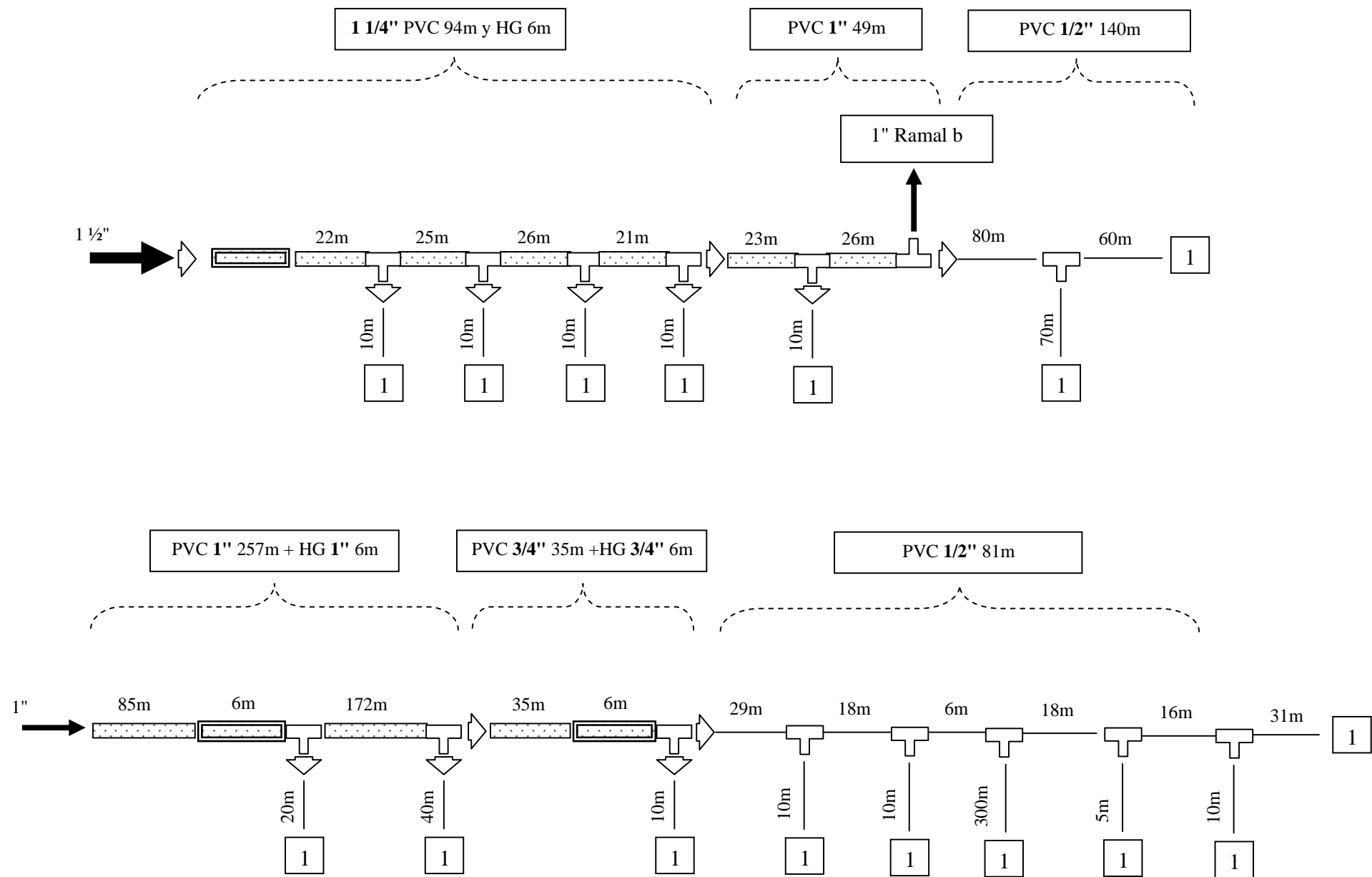
- Ramal principal, de tanque de distribución a te de bifurcación “Ramal 1A-Ramal 1-B”. (Fig.50).



- Ramal 1A. (Fig.51).



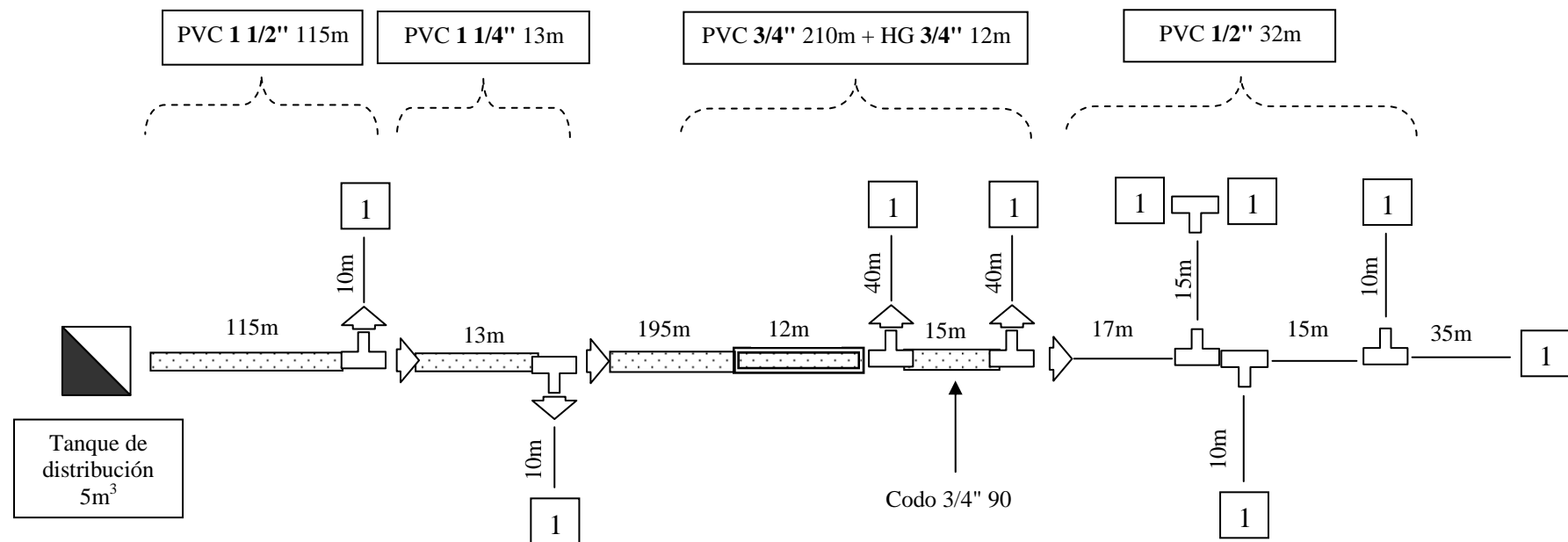
- Ramal 1B y Ramal b. (Fig.52).



Materiales para Ramal 1, 1A y 1B y 1b.

TUBOS	DIÁMETRO	CANTIDAD
HG	1 ½'	5
HG	1 ¼"	1
HG	1"	2
HG	¾"	1
PVC 160psi	1 ½'	35
PVC 160psi	1 ¼"	34
PVC 160psi	1"	54
PVC 315psi	¾"	25
PVC 315psi	½"	185
TE	DIÁMETRO	CANTIDAD
HG	1 ½"	1
PVC	1 ½"	6
PVC	1 ¼"	4
PVC	1"	7
PVC	¾"	2
PVC	½"	7
REDUCIDOR	DIÁMETRO	CANTIDAD
HG	1 ½" x 1 ¼"	1
HG	1 ½" x 1"	1
PVC	1 ½" x ½"	6
PVC	1 ¼" x 1"	1
PVC	1 ¼" x ½"	4
PVC	1" x ¾"	2
PVC	1" x ½"	7
PVC	¾" x ½"	4
ACCESORIOS	DIÁMETRO	CANTIDAD
Adaptador macho	1 ½"	2
Adaptador macho	1 ¼"	2
Adaptador macho	1"	2
Adaptador macho	¾"	2
Copla HG	1 ½"	2
Copla HG	1 ¼"	2
Copla HG	1"	2
Copla HG	¾"	2
CODOS PVC 90	1"	1
CODOS PVC 90	¾"	1
CODO HG 45	1"	2
CODO HG 45	1 ½"	2

- Ramal G2. (Fig.53).

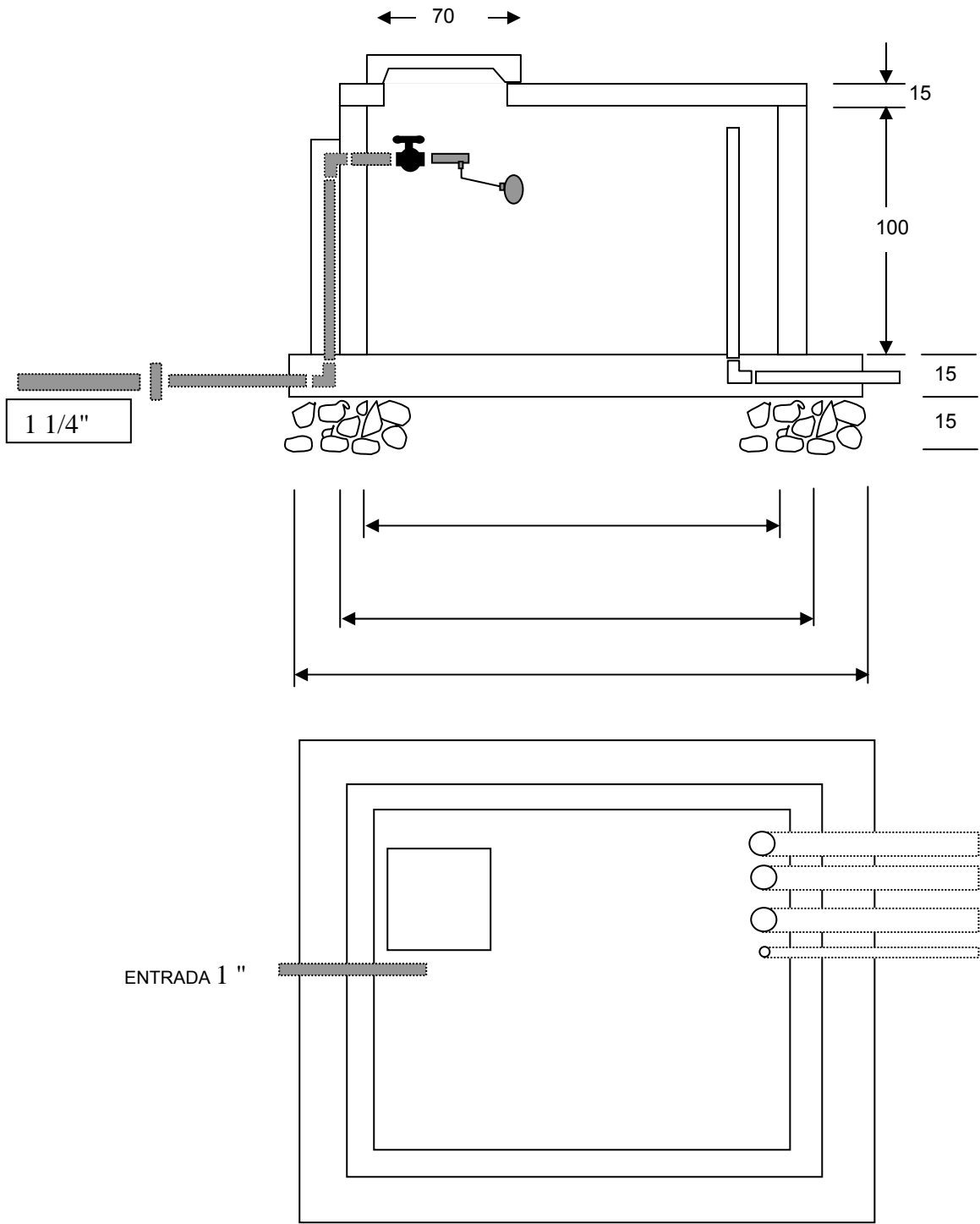


Materiales para Ramal G2:

TUBOS	DIMENSIÓN	CANTIDAD
HG	¾"	2
PVC 160psi	1 ½"	20
PVC 160psi	1 ¼"	3
PVC 315psi	¾"	36
PVC 315psi	½"	34
TES	DIMENSIÓN	CANTIDAD
PVC	1 ½"	1
PVC	1 ¼"	1
PVC	¾"	2
PVC	½"	4

REDUCIDOR	DIMENSIÓN	CANTIDAD
PVC	1 ½" x 1 ¼"	1
PVC	1 ½" x ½"	1
PVC	1 ¼" x ¾"	1
PVC	1 ¼" x ½"	1
PVC	¾" x ½"	3
ACCESSARIOS	DIMENSIÓN	CANTIDAD
Adaptador macho	¾"	2
Copla HG	¾"	1
Codo PVC	¾"	1

- Caja de rompe-presión de 1m³. (Fig.54).



Materiales para la caja de rompe-presión de 1m³:

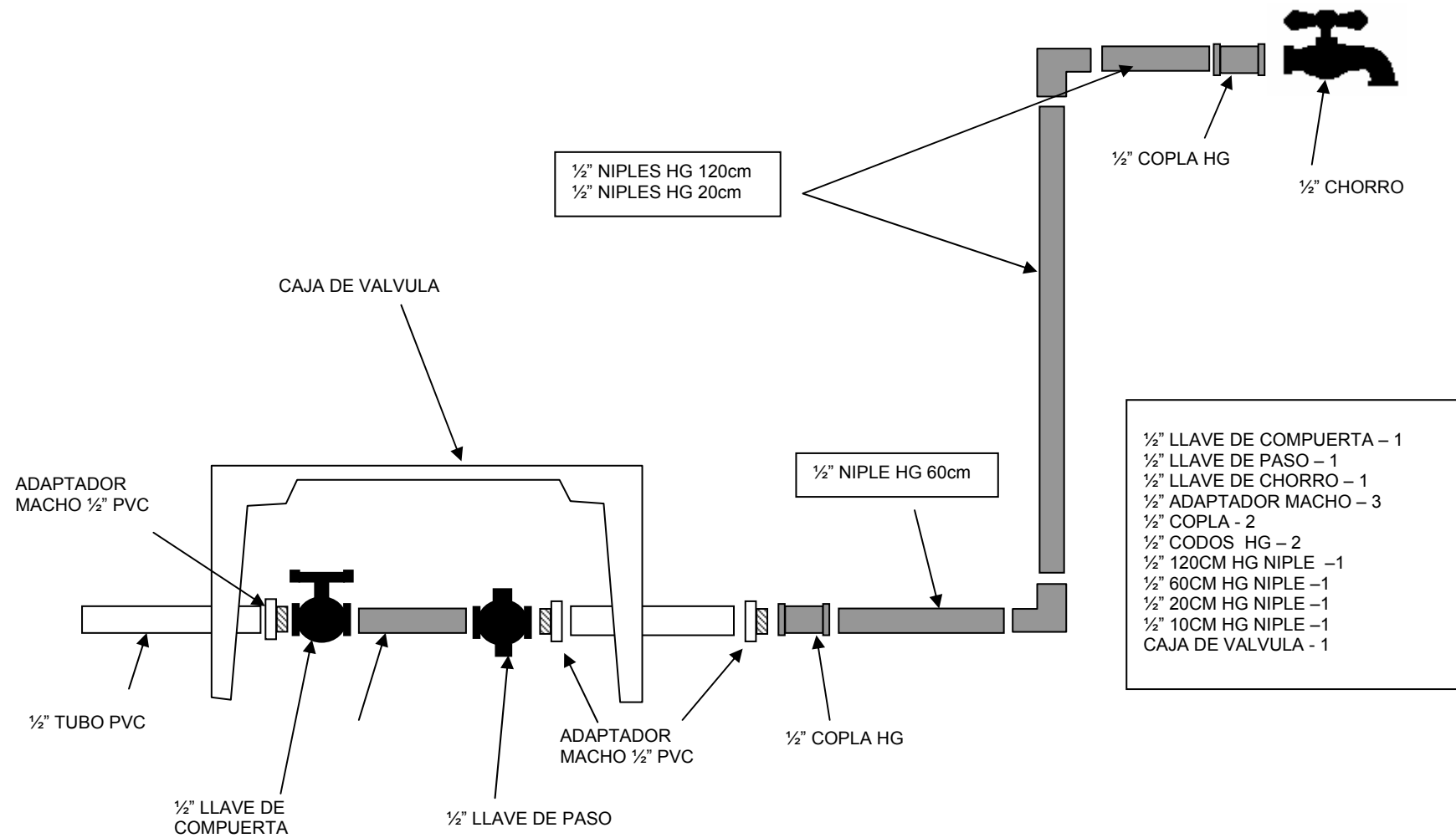
• Caja:

MATERIAL	DIMENSIÓN	CANTIDAD
Arena	--	1m ³
Piedrín	--	1m ³
Cemento	--	8 quintales
Reglas 3 varas	2"X4"	6
Tablas 2 1/2 varas	--	12
Alambre de amarre	--	2 libras
Armadura	3/8"	39 varilla
Clavos	2"	2 libras
Clavos	4"	2 libras
Candado	2"	1
Rollo de Teflón	--	1

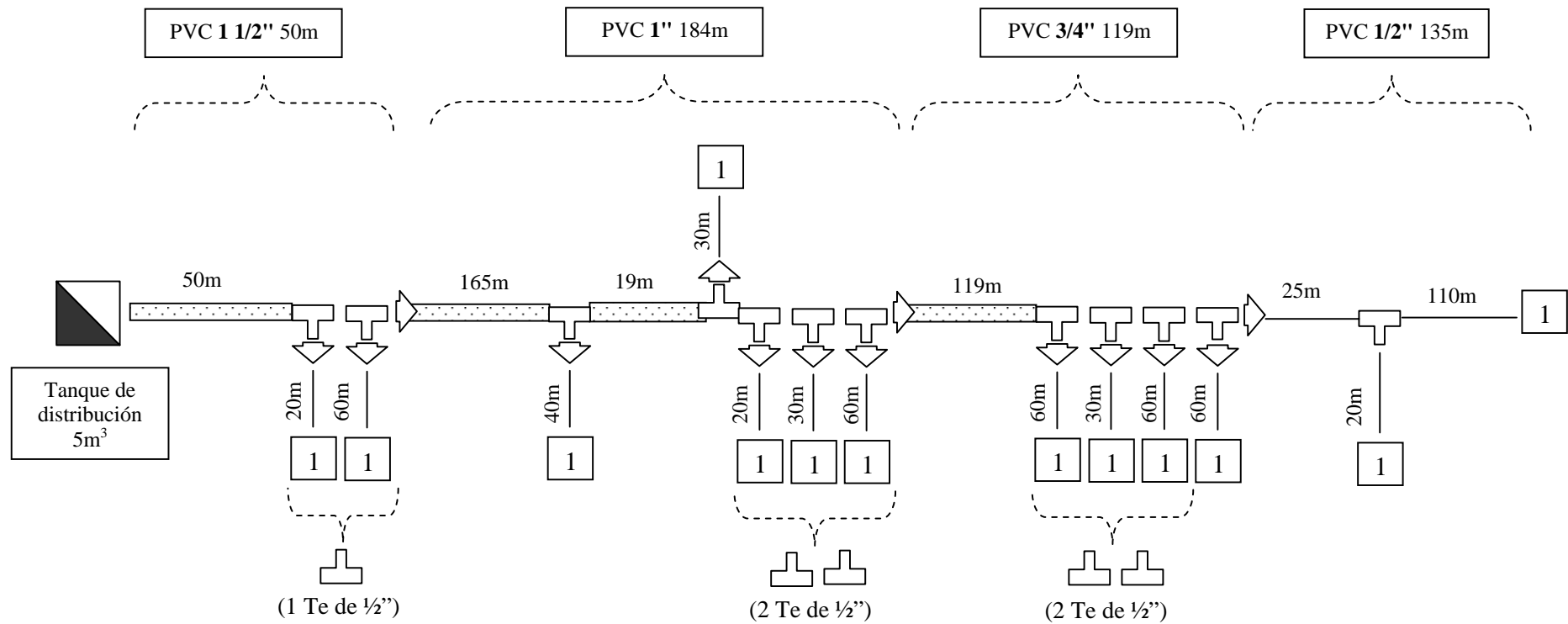
• Salida, limpieza y rebalse:

MATERIAL	DIMENSIÓN	CANTIDAD
Tubo PVC 250 psi	2"	1
Codo PVC	2"	3
Reductor en la salida	1 1/2"	1

- Conexión domiciliar. (Fig.55).



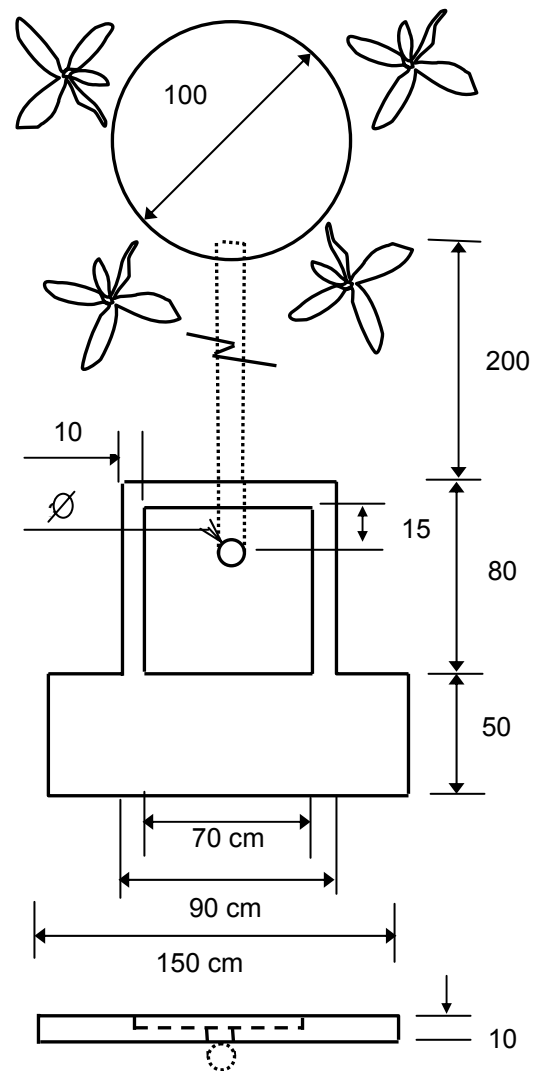
- Ramal G3 y M2. (Fig.56).



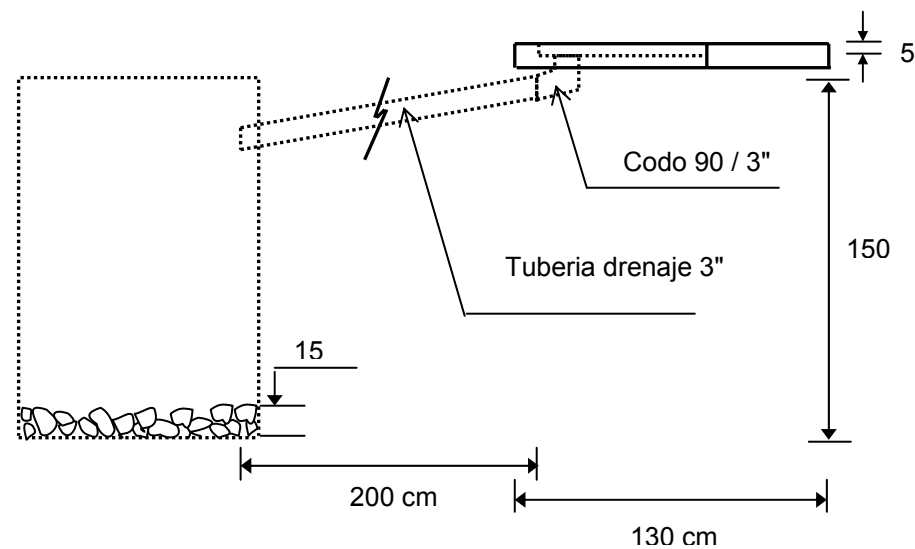
Materiales para Ramal G3 y M2.

TUBOS	DIMENSIONES	CANTIDAD
PVC 160psi	1 ½"	9
PVC 160psi	1"	31
PVC 315psi	¾"	20
PVC 315psi	½"	105
TEES	DIMENSIONES	CANTIDAD
PVC	1 ½"	2
PVC	1"	5
PVC	¾"	4
PVC	½"	6

REDUCIDOR	DIMENSIONES	CANTIDAD
PVC	1 ½" x 1"	1
PVC	1 ½" x ½"	2
PVC	1" x ¾"	1
PVC	1 " x ½"	5
PVC	¾" x ½"	5
ACCESORIOS	DIMENSIONES	CANTIDAD
CODO 45°	1 ½"	1



**ESQUEMA DE PISO DE HORMIGÓN
PARA PILA (Fig.57).**



Materiales:

Piedrin - 2 carretas
 Arena - 1 carreta
 Cemento - 1.5 quintal
 Codo 90 drenaje 3" - 1
 Tubo drenaje 3" - 3 metros
 Tubo drenaje 2" - 2 metros
 Piedras - 2 tareas

3.2.2.4. ESTUDIO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA. LISTA DE MATERIALES. FINANCIACIÓN.

En este apartado, se incluyen las listas de los materiales necesarios para la construcción del sistema. Además, se añadirán los costes directos e indirectos, como por ejemplo la mano de obra o los gastos de oficina.

En cuanto a la financiación del proyecto, WFP se encargará de aportar aproximadamente el 90% del capital requerido mientras que la comunidad cubrirá el 10% aproximado restante, además de aportar la mano de obra no cualificada. En concreto, WFP, a través de Agua para la Salud, se encargará de cubrir los costes de los materiales del sistema, además del coste de los salarios de los empleados, de los fletes, etc. La comunidad asumirá el coste de los pisos de hormigón para las pilas y de las cabinas para las letrinas. El pago que aporta la comunidad tiene como principal finalidad que ellos sientan el proyecto como suyo, realmente, no como algo regalado, con lo que el sistema se cuidará y mantendrá mejor. Por otro lado, para la comunidad también supone un orgullo haber podido aportar fondos hacia el sistema de abastecimiento de agua que se instala en su comunidad.

La mano de obra no cualificada ya mencionada que deberá aportar la comunidad se destinará a ayudar a los albañiles de Agua para la Salud a construir los pisos para las pilas y a cavar los fosos de absorción y las fosas sépticas para las letrinas. Además, se involucrarán en la construcción e instalación del resto del proyecto. La comunidad, tiene que ayudar al personal de la organización durante todo el proyecto, suministrando además de la mano de obra, otras atenciones requeridas. Los habitantes se tienen que organizar entre sí para compartir las responsabilidades para el bien de toda la comunidad. Esta es una exitosa manera de involucrarles en el desarrollo del proyecto e instruirles en cómo mantener y reparar el sistema cuando surja la necesidad.

La lista completa de materiales se recoge en el apéndice 9. En esta lista se reflejan también los materiales que ya estaban en el almacén, sobrante de otros proyectos. Del material necesario, antes de realizar el pedido se tiene en cuenta este material que ya se compró y está almacenado con lo que se reduce el pedido y, consecuentemente el coste.

Nótese que en el diseño de tubería de nuestro sistema se indica instalar a la salida de la caja de captación y hasta el tanque de distribución dos tuberías de 1" en vez de una de 2". La razón fue precisamente porque sobraba mucha tubería de HG de 1" proveniente de un proyecto anterior y, puesto que esta pequeña modificación no alteraba la hidráulica de nuestro sistema, se procedió con ella para reducir los costos de adquisición de material.

De todos estos materiales, la comunidad correrá con el gasto de las letrinas y de los pisos para las pilas, con lo que deberán aportar:

	COSTE QUETZALES	COSTE DOLARES
LETRINAS + PISOS (42)	10789,27	1448,22
PRECIO POR CONEXIÓN	256,89	34,48

Es decir, 34,48 dólares por conexión. No supone una cantidad de dinero despreciable para cada familia pero es asequible. Como ya comentamos, la proximidad con el municipio de Nebaj aumenta el poder adquisitivo de los habitantes de la comunidad.

Además de la lista de materiales, habrá que contemplar otros gastos, como por ejemplo la mano de obra, reflejados en la siguiente tabla:

GASTOS MENSUALES

PROYECTO: Cantón Q'alché				
GASTO	POR MES	MESES	QUETZALES	DOLLARES
ADMINISTRADOR	3253,67	2,50	8134,18	1091,84
ALBANIL 1	2528,00	2,50	6320,00	848,32
ALBANIL 2	2528,00	2,50	6320,00	848,32
SUPERVISION/DISEÑOS	2350,00	2,00	4700,00	630,87
2--AYUDANTES	2000,00	2,50	5000,00	671,14
PROMO. DE SALUD (WFP)	2238,56	2,50	5596,40	751,19
OFICINA	3500,00	2,00	7000,00	939,60
TRANSPORTE	3000,00	1,50	4500,00	604,03
COMMUNICATION	900,00	2,00	1800,00	241,61
ADMINISTRATION TOTAL	22298,23		49370,58	6626,92
MATERIALES TOTAL			42494,73	5703,99
IMPREVISTOS--- 10%			4249,47	570,40
TOTAL			96114,78	12901,31

3.2.2.5. PROMOCIÓN DE SALUD.

Como parte de la promoción de salud, a la comunidad se le impone unas condiciones que deben cumplir si quieren formar parte del proyecto de abastecimiento de agua. Éstas consisten en la construcción de dos elementos del sistema ya mencionados:

- Construcción de la plataforma o piso de hormigón que servirá de base para la pila, que es hasta donde llegará el grifo aportando agua, además de su respectivo foso de absorción, de radio 80cm y 3m de profundidad, donde se destinan las aguas grises generadas en la pila.
- Construcción de una fosa séptica para el uso de la letrina que se instalará en un lugar seleccionado por el usuario.



Figura 58. Habitante de Q'alché cavando hoyo de 80cm radio x 3m profundo para foso de absorción.

Cada futuro usuario será quién decida en qué parte de su casa va a querer la pila y la letrina.



Figura 59. Construcción de piso para pila por albañil de Agua para la Salud- Q'alché

Por otra parte, el promotor de salud de la organización irá casa por casa impartiendo las clases de salud e higiene básicas mencionadas anteriormente. En ocasiones le acompañarán los voluntarios internacionales. Se repartirán unas hojas informativas que, mediante ilustraciones, de fácil comprensión y previamente explicadas, recordarán las normas sanitarias e higiénicas que se deben seguir. Se ha diseñado un calendario para repartir en el que se recogen las principales pautas a seguir por los habitantes de las aldeas. También, especialmente para los niños, se creó un juego que enseña las mismas pautas de higiene, solo que adaptadas a la edad de los más pequeños.

REGLAS DE MI CASA

LO QUE NO DEBE HACER



No tomar del río



No tomar agua del chomo



No hacer popo en el río



No estar sucio



No tirar basura en el río



No dejar la letrina sucia



No jugar en la tierra



No comer con manos sucias

LO QUE DEBE HACER



Barrer el piso



Usar letrina limpia



Tomar agua purificada y tapada



Lavarse las manos



Bañarse frecuentemente



Purificar el agua con cloro



Lavar verduras y frutas



Lavarse las manos



Cepillarse los dientes



Mantenerse las manos limpias



Encerrar los animales



Tirar la basura en su lugar

COMO PURIFICAR EL AGUA CON CLORO

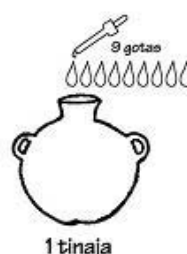
Hay que esperar media hora para que el cloro haga su efecto y poder usar el agua...
Mantenga el CLORO alejado de los niños ya que es PELIGROSO...



1 litro



1 galón



1 tinaja



la pila

CALENDARIO 2006

Enero							Febrero							Marzo							Abril							Mayo							Junio																																
DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB																										
	1	2	3	4	5	6	7											1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																			
	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																
	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	12	13	14	15	16	17	18	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25	19	20	21	22	23	24	25	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
	29	30	31					26	27	28				26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								

Julio							Agosto							Septiembre							Octubre							Noviembre							Diciembre																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB	DOM	LUN	MAR	MIÉ	JUE	VEN	SAB																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
						1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

REGLAS DE MI CASA

LO QUE NO DEBE HACER



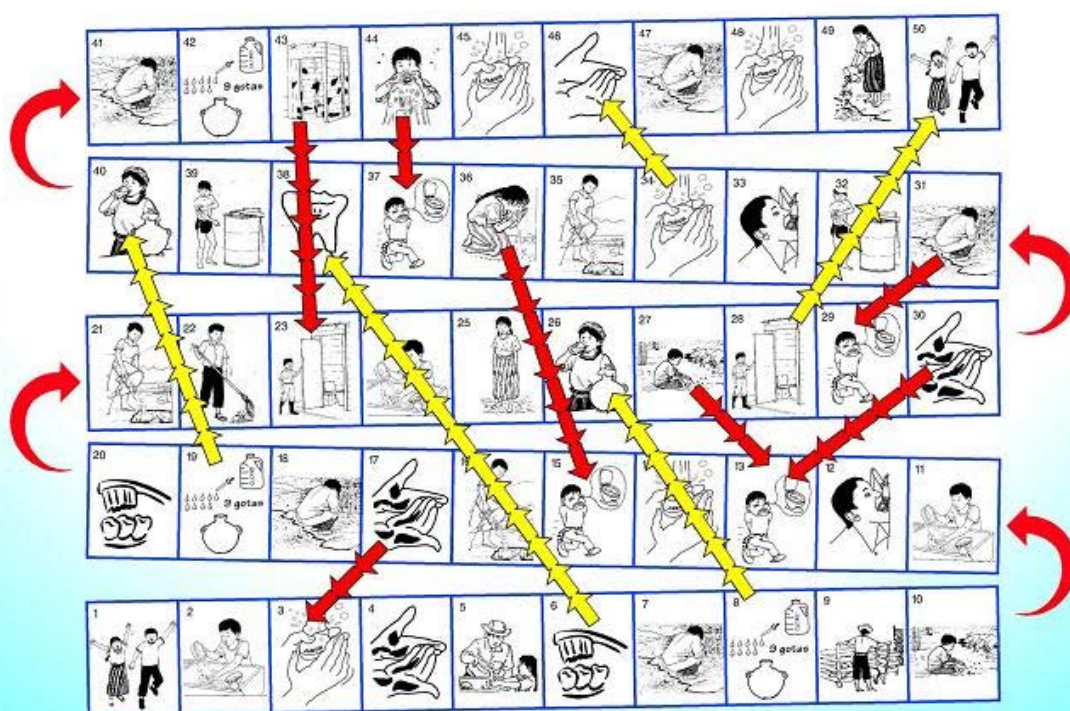
No tomar del río No tomar agua del chorro No hacer popo en el río No mantener manos sucias No tirar basura en el río No dejar la letrina sucia No jugar en la tierra No comer con manos sucias

LO QUE DEBE HACER



Barrer el piso Usar letrina limpia Tomar agua purificada y tapada Lavarse las manos Bañarse frecuentemente Purificar el agua con cloro
Lavar verduras y frutas Cepillarse los dientes Mantenerse las manos limpias Encomar los animales Tirar la basura en su lugar

JUEGO DE HIGIENE Y AGUA



1 2 3 4 5 6

Community Enterprise Solutions
www.cesolutions.org



www.waterforpeople.org

Figura 61. Juego creado para niños con pautas de comportamiento higiénico.

3.2.2.6. REUNIÓN CON LA ALDEA.

Se tiene una reunión con el Comité de Agua y los miembros de la comunidad que quieran asistir (cuantos más, mejor) y se les explica detalladamente en qué consiste el sistema. Primero en español y después, gracias a uno de los empleados lugareños de Agua para la Salud, en Ixil, se les explica detalladamente, con ayuda de dibujos y gráficos en una pizarra, cómo estará compuesto finalmente el sistema, por dónde pasarán las tuberías y dónde se ubicará el tanque de distribución y la caja rompe-presión. Además, se plantean los siguientes temas:

- Se les asegura de nuevo que se llevará un grifo a cada una de las casas que lo desee y esté dispuesta a participar en el proyecto.
- Se les plantea que, antes de proceder con la construcción del sistema, se deberá construir en cada hogar que quiera participar en el proyecto el piso de hormigón para la pila además de la letrina.
- Se les expone la necesidad de aportar la mano de obra no cualificada para dicha construcción, además de para la instalación del resto del sistema.
- Se les explica detalladamente qué cubrirá la aportación económica que debe hacer cada usuario, que será el coste del piso y de la letrina. Se les explica de la misma manera qué cubrirá el capital que aportará WFP, que será el resto del sistema, además de los gastos de Agua para la Salud, como son los salarios de los albañiles, el transporte, etc.
- Se les deja bien claro que si deciden no cumplir con las condiciones de construcción del piso y de la letrina, serán excluidos de la distribución de agua.
- Se les señala que se dejarán tomas de agua disponibles por si otros usuarios se quieren integrar en el proyecto en un futuro. Si estos nuevos usuarios ingresasen, la construcción del piso de hormigón y de la letrina serían indispensables para su inclusión. Además, el nuevo usuario deberá asumir los gastos que suponga su conexión al sistema.
- De nuevo, se especifica cuál es el papel del Comité de Agua, haciendo especial hincapié en la recolección de fondos que realizarán en el caso de que se necesite alguna reparación o labor de mantenimiento.
- Se comunica el periodo o plazo aproximado de construcción del sistema, por fases generales.

Se intenta ser lo más transparente posible con los detalles para que todo el mundo comprenda en su totalidad los beneficios y responsabilidades del proyecto. Se deja un espacio amplio para preguntas a lo largo de toda la reunión, después de cada cuestión importante y, de nuevo, al final de todo. Se insiste en que se resuelvan todas las posibles dudas.

Al final de la reunión, una vez explicados todos los matices de la instauración del sistema de abastecimiento de agua, se lleva a cabo una pequeña sesión de educación sanitaria e higiénica.

A la comunidad se le da un plazo de tiempo suficiente para que reflexionen sobre el tema. Cuando ese plazo vence (en nuestro caso fue un jueves la reunión y el lunes siguiente la fecha de decisión), el Comité se desplaza a Nebaj, a la oficina de Agua para la Salud para acudir a una reunión previamente programada donde se dará la respuesta final, indicando si finalmente se quiere o no que se proceda con el proyecto, y aclarando, si fuera necesario, alguna duda que pudiera haber surgido.

En el caso de que quisiesen proceder con la construcción del proyecto, deberán entregar el dinero necesario para cubrir los costos de los materiales del piso de hormigón y de la letrina. Por supuesto, se les entrega el respectivo recibo.

Una vez finalizado el proyecto, el sistema de abastecimiento de agua por gravedad será auto-sostenible en la comunidad, sin ayudas externas, gracias a los conocimientos trasvasados durante la construcción.

Un dato curioso es que, de las 50 familias que forman Q'alché, el primer día sólo se inscribieron 39 al proyecto pero, en los días que siguieron, antes de cerrarse el plazo definitivo, se fueron apuntando más y más, hasta un total de 47 familias, ya que vieron que los pisos de hormigón se empezaban a construir y el proyecto realmente era verídico y salía adelante.

3.2.2.7. PRESENTACIÓN DE INFORME DE PETICIÓN.

Se completa un informe detallado, en formato estándar creado por WFP y se remite a dicha organización para la autorización definitiva, financiación e inicio de obras.

3.3. RECONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS Y EQUIPOS TRAS LA EMERGENCIA.

3.3.1. INTRODUCCIÓN.

El efecto del Huracán Stan se hizo sentir en especial a los alrededores del Lago Atitlán y a distintas áreas de Chimaltenango, como en el municipio de Acatenango, en la parte Este de Sololá.

Se incluye un pequeño mapa donde aparecen algunas de las aldeas donde estuve desempeñando labores de emergencia y reconstrucción.

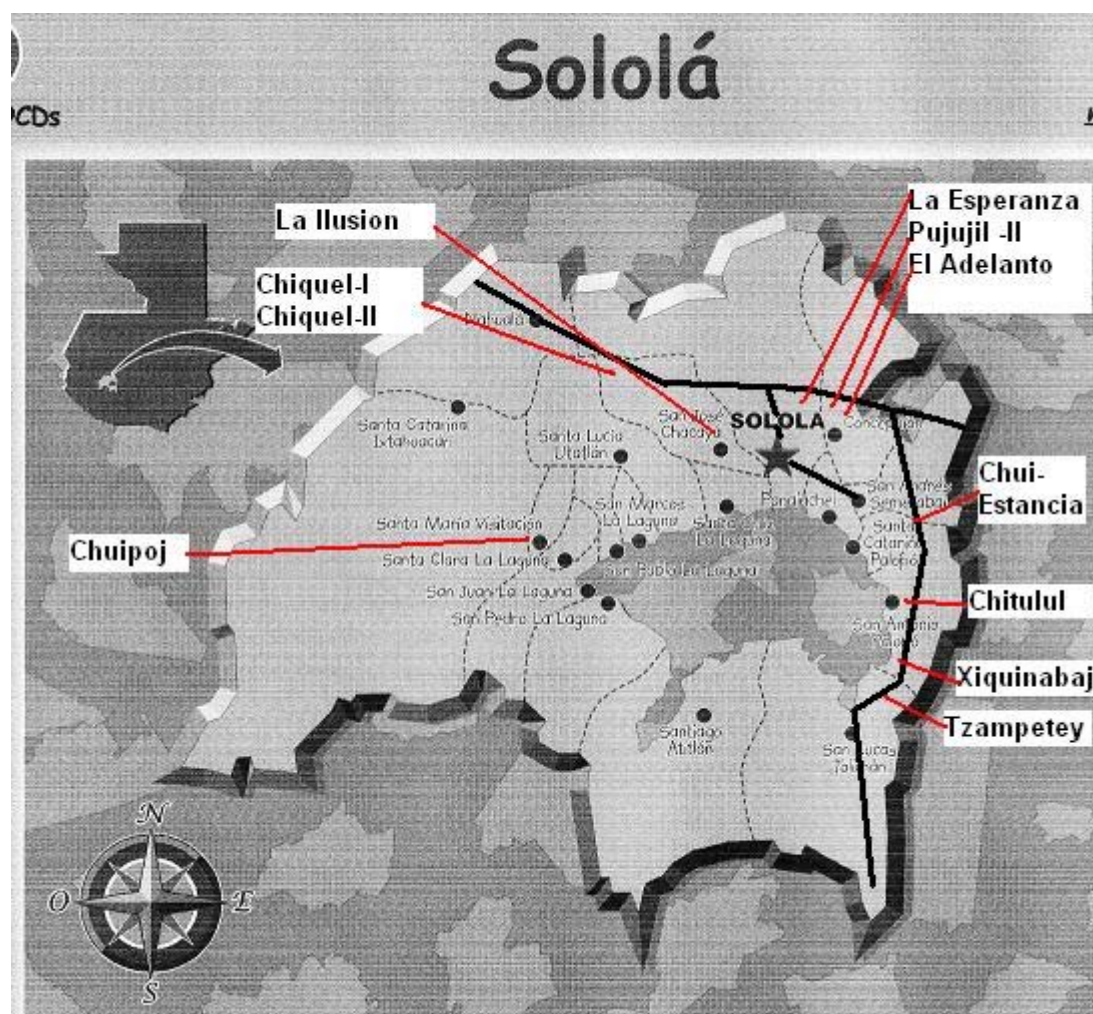


Figura 62. Mapa de zonas de actuación de labores de emergencia.

El trabajo de emergencia que realicé consistía en desplazarme a las aldeas afectadas por los efectos del huracán y, acompañado por miembros del comité de agua local, hacer un reconocimiento de todo el sistema de abastecimiento de agua para ver en qué secciones se había averiado y de qué manera se podría reparar. Elaboraba la consecuente lista de materiales necesarios para la reparación y la presentaba a la organización WFP, que subvencionaba parte de la compra. En un principio, sólo se trataba la

emergencia directa, pero se tomaba nota de las modificaciones necesarias para el buen funcionamiento a largo plazo.

3.3.2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS.

En la siguiente tabla se incluye un resumen de las labores de emergencia en las que trabajé, llevadas a cabo en las aldeas de La Esperanza Pujugil 2, San José Xiquinabaj, Chitulul, Parcelamiento Pampojilá, El Socorro, Chichoy, Palamá.

ELEMENTO	CANTIDAD
TRAMOS DE TUBERÍA ENTRE PILARES HORMIGÓN	
Tubería HG 1/2"	1
Tubería HG 1"	1
Tubería HG 1 1/4"	2
Tubería HG 1 1/2"	2
Tubería HG 2"	9
Tubería HG 2 1/2"	2
Tubería HG 3"	3
TRAMOS DE TUBERÍA ENTERRADOS EN ZANJAS	
Tubería PVC 1 1/4" 160 psi	19
Tubería PVC 1 1/2" 160 psi	2
Tubería PVC 1 1/2" 250 psi	3
Tubería PVC 2" 160 psi	179
Tubería PVC 2" 250 psi	3
Tubería PVC 2 1/2" 160 psi	7
Tubería PVC 3" 160 psi	50
VÁLVULAS DE COMPUERTA	
Instalación	2
CAJAS DE CAPTACIÓN	
Limpieza	3
Reparación	4
Construcción	1
CAJAS DE REUNIÓN	
Construcción	1
TANQUE DE DISTRIBUCIÓN	
Cloración	1
PUENTE COLGANTE	
Reparación (HG 2 1/2", 28m largo)	1
PILARES DE HORMIGÓN	
Construcción	4
Reparación	2

3.3.3. EXPERIENCIA DETALLADA.

A continuación, incluyo distintos ejemplos acompañados de imágenes en los que se puede apreciar los tipos de daños ocasionados y las reparaciones que serían necesarias.

3.3.3.1. TRAMOS DE TUBERÍA ENTRE PILARES HORMIGÓN.



Figura 63. Palamá.

Por el tubo de metal que está en la pared (a la derecha) saldrá un tubo de HG que continua, a la intemperie, 4,5 metros hasta llegar a un pilar de hormigón que se construirá para soportarlo. De aquí, se colocará otro tubo de HG que conecte con el tubo de PVC que sigue intacto (izquierda). En circunstancias parecidas, se suele hacer la conexión mediante un tubo de PVC enterrado, saliendo más barata la reparación, pero aquí hay mucha piedra y es inviable cavar.



Figura 64. La Esperanza Pujugil 2.

Debido a la crecida del riachuelo, las tuberías que lo atravesaban han sido arrancadas. En este caso, una tubería de HG de 1¼" pasará por los pilares de hormigón situados a cada lado del riachuelo. Se descarta la opción de cavar y enterrar tubería porque el suelo es de piedra y, además, el río pasa por encima del tramo, dificultando la tarea.

Materiales:

Tubo HG 1 ¼" → 1

Adaptadores macho → 2

Copla → 1

Hormigón para pilares.

(Hierro, tablas, alambre de amarre, y clavos).

3.3.3.2. TRAMOS DE TUBERÍA ENTERRADOS EN ZANJAS.

En la siguiente imagen, el inmenso deslave que se aprecia destruyó 110m de tubería de PVC. La reparación en este caso consiste en cavar una zanja de 80cm a 1m de profundidad y enterrar 110m de nueva tubería de PVC para que el sistema vuelva a tener continuidad en este tramo.



Figura 65. La Esperanza Pujugil 2

En la siguiente página aparece la imagen de una sección del sistema de Chitulul, un tramo de tubería de HG ha sido arrastrado por un desprendimiento de tierra. Se decidió repararlo sustituyendo el HG que había por tubería de PVC que irá enterrada en una trinchera. En un principio se contempló la posibilidad de instalar de nuevo tubería de HG sostenida por pilares de concreto cada 12m pero esta disposición es la que precisamente ya fue destruida por el deslave. Consecuentemente, si volviese a suceder algo similar, se volvería a destruir de nuevo, con lo que es mejor que la solución sea más económica, como lo es la instalación del PVC. El tramo de tubería seguirá aproximadamente la línea que describe la cinta métrica de color amarillo que se puede apreciar en la imagen. Se debe limpiar un poco el terreno de la vegetación que hay en medio para poder trabajar más fácilmente y para evitar que pueda levantar la tierra en un futuro.



Figura 66. Chitulul.

3.3.3.3. LLAVES DE COMPUERTA.

En el sistema de Chichoy, una llave de compuerta fue arrancada por un deslave. Esta avería se repara simplemente colocando una nueva llave de compuerta o antes o después del deslave, en terreno firme. Lo mismo sucedió en el sistema de Palamá.

3.3.3.4 CAJAS DE CAPTACIÓN.

A continuación, incluyo dos imágenes de una caja de captación del sistema de La Esperanza Pujugil 2. Representan dicha caja antes y después de la reparación.

REPARACIÓN:



Figura 67. La Esperanza Pujugil 2 – caja de captación dañada



Figura 68. La Esperanza Pujugil 2 – caja de captación reparada

LIMPIEZA:

En la imagen siguiente, se observa cómo las cajas de captación, claramente necesitan una limpieza. Han sido parcial o totalmente cubiertas por el deslave, haciendo imposible el acceso a ellas. En parte también han sido un poco dañadas con lo que se tendrá que proceder a su reparación. Normalmente el daño aparece en las tapas que cubren las cajas. En la imagen, aparecen indicados los nacimientos sobre los que están construidas las cajas de captación.



Figura 69. Cajas de captación que requieren limpieza y reparación. San José Xiquinabaj

3.3.3.5. CAJAS DE REUNIÓN.

En el sistema de Palamá, la caja de reunión de caudales se vio afectada por los desprendimientos de tierra y por la crecida del río. Habrá que desterrarla un poco y reparar las partes dañadas. Se puede apreciar su estado en la imagen incluida en la página siguiente.



Figura 70. Caja de reunión - Palamá

3.3.3.6. PUENTES COLGANTES.

Incluyo en la página siguiente la foto de cómo quedó el puente colgante del sistema de Chitulul. Las bases de hormigón se dañaron un poco pero el problema principal es que las tuberías de HG que lo cruzaban fueron arrastradas por el río crecido. Los cables de acero que las sujetaban también fueron arrancados en su mayoría así que habrá que remplazar dichos materiales para poder reparar el puente. Los pilares también se retocarán para asegurar su firmeza.



Figura 71. Chitulul – Puente colgante.

En las dos imágenes siguientes, se puede apreciar algunos destrozos generales ocasionados por el paso del Huracán Stan. En la primera imagen, se ve cómo en un tramo de la carretera Panamericana, un carril entero se ha derrumbado puesto que la tierra que había debajo se corrió. En la segunda imagen, se observan los efectos de la crecida de un río cerca de Chichoy. En este lugar perdieron la vida dos personas por las inundaciones.



Figura 72. Tramo de carretera Panamericana.



Figura 73. Efectos de desbordamiento de río

A continuación, incluyo una lista de materiales que servirá de ejemplo. Es la elaborada en el sistema de Palamá:

Material	Cantidad	Precio (quetzales)
Tubos PVC 2" 160psi	90	10170
Tubos HG 2"	3	1545
Adaptadores Hembra	12	10
Cemento	40qq	1600
Hierro 3/8"	2qq	418
Alambre de amarre	10 Lbs	30
Clavo 3"	5 Lbs	15
Codos 2" 90 grados	4	20
Pegamento PVC	3 botes	280
Tee PVC 2"x2"x2"	1	7
Valvula de Compuerta 2"	1	100
Adaptador macho 2"	10	10
Mano de obra calificada		900
	TOTAL	15105

Por lo general, WFP donaba fondos para cubrir todo el material hidráulico, es decir, tuberías y accesorios. En cuanto a los demás materiales, como el cemento, los clavos, las tablas, etc., era la comunidad en cuestión la que debía realizar la aportación económica. Evidentemente, el coste del material hidráulico era mucho mayor que el otro. Aproximadamente el 90% del coste total de reparación, por lo menos.

Normalmente, la lista de materiales la elaborábamos nosotros directamente. Después, desde la oficina, después de revisada, se mandaba a una ferretería para presupuestar. En alguna ocasión, la lista de materiales se mandaba presupuestar a la ferretería directamente por el comité de aguas. Desde allí mismo mandaban un fax con la lista de precios a la oficina que evaluaba la situación. Incluyo un ejemplo de una lista de materiales de la aldea de San José Xiquinabaj.

DE : FERRO AGRO

NO. DE FAX : 7623477

14 NOV. 2005 12:05PM P1

Distribuidora "FERRO-AGRO"

7Av. 7-45 Zona 2, Tels.: 762-3667 y 762-3475 Telefax: 762-3666
Km. 137.70 Carretera a Sololá, Telefax: 762-3476

FECHA	MES	AÑO
14	11	05.

Lorenzo Becker

INFORME
Nº 0002054

Señor: Lyan Roberts.Dirección: Chimaltenango.Nit: C/F.

CANT.	DESCRIPCION	P/UNITARIO	TOTAL
1	Tubo H.G. 1/2		75.00
5	Tubo H.G. 3"	510.00	2550.00
2	Tubo H.G. 2"	305.00	610.00
2	CODOS H.G. 9x45°	29.50	59.00
2	ADAPT. MACHO 1/2 H.G.	8.00	16.00
1	COPIA. H.G. 1/4		5.00
2	ADAPT. MACHO 3"	45.00	90.00
1	COPIA. H.G. 3"		52.00
2	ADAPT. MACHO 2	12.00	24.00
3	VALVULAS TEFALON 1	3.00	9.00

precios estan sujetos a cambio
s/previo Aviso.

FAX 7832-0082

DE. JESUS BIXCUL GOMEZ.
COMITE. OPERACION MANTENIMIENTO.
AGUA. POTABLE.
(SAN JOSE CHIQUINBAJ)

TOTAL Q. 3,190.00

NUESTRA ALIANZA ES CONSTRUIR PROGRESO

3.3.4. REVISIÓN CRÍTICA.

3.3.4.1. OPERACIONES DE CORTO/LARGO PLAZO.

Como ya he mencionado con anterioridad, lo que se busca de manera inmediata en primera lugar en las labores de emergencia es que el agua vuelva a llegar a la aldea. Con lo cual, las soluciones que se aplican para reparar el sistema son las más rápidas posibles y, como resulta obvio, no siempre coinciden con las más sostenibles. Por esta razón, una vez el sistema esté de nuevo funcionando, habrá que modificar las zonas más precarias. Es decir, las que con mayor seguridad no aguantarán mucho tiempo sin volver a averiarse. Hasta el momento, las reparaciones incluidas en esta sección correspondían únicamente a las labores de emergencia a corto plazo. En este apartado, trataré algunas de las modificaciones que se deben hacer sobre distintos sistemas para asegurar su continuidad en el futuro, intentando conseguir incluso que si se vuelve a dar una situación catastrófica como otro huracán, el sistema perdure sin romperse. Incluyo una lista donde se recojan las distintas modificaciones a largo plazo que se deben realizar.

ELEMENTO	CANTIDAD
RELOCALIZACIÓN DE TUBERÍA	
Tubería PVC 2"	80
SUSTITUCIÓN DE TUBERÍA DE PVC POR HG + PILARES DE HORMIGÓN	
Tubería HG 1 1/2"	2
Tubería HG 2"	9
Tubería HG 2 1/2"	4
Pilares de hormigón	13
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES COLGANTES	
Puente de 60 m de largo	1
Puente de 42 m de largo	1
Puente de 28 m de largo	1
CONSTRUCCIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN	
Muro de contención	1
CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE CAPTACIÓN	
Construcción	1
NUEVA CANALIZACIÓN	
Tubería PVC 3" 160 psi	20

3.3.4.1.1. SUSTITUCIÓN DE PVC POR HG.

En varias ocasiones, las tuberías de PVC instaladas para la reparación a corto plazo se remplazarán por otras de HG, mucho más resistentes. Además, los soportes temporales realizados con simples palos se sustituirán por pilares de hormigón. He aquí unos ejemplos:



Figura 74- Chichoy.

En la imagen anterior, del sistema de Chichoy, se procederá a lo indicado: la tubería de PVC se sustituirá por una de HG y se construirán unos soportes más estables, de hormigón. En este punto del sistema la crecida del riachuelo se llevó la tubería existente. La alternativa de cavar una zanja para enterrar la tubería de PVC es inviable puesto que el terreno es bastante rocoso y, además, pasa el riachuelo por encima dificultando la tarea.

A continuación, en una sección del sistema de Pampojilá nos encontramos con un desprendimiento de tierra que ha destruido un par de tuberías y que ha dejado un socavón a su paso:



Figura 75. Parcelamiento Pampojilá.

Este tramo es de aproximadamente 10 metros de longitud (es decir, menos de dos tuberías de largo), con lo que simplemente se colocará un pilar de hormigón a cada extremo de la zanja. Sostendrán la tubería de HG que pase por ella, de 3", sin necesidad de un tercer pilar en medio de la zanja.

3.3.4.1.2. COMBINACIÓN DE SUSTITUCIÓN DE PVC POR HG Y ENTERRAMIENTO DE PVC.

En el siguiente tramo de avería reparada en el sistema de Pampojila, la tubería de PVC que se ha reinstalado está a la intemperie. Este tramo de tubería es paralelo al camino y tiene una longitud de aproximadamente 25m. En dicho tramo sobre el camino, la opción será simplemente cavar una zanja de unos 80cm aproximadamente y enterrar la tubería.



Figura 76. PVC a la intemperie – Sistema de Pampojilá.

En la imagen se ve donde la tubería deja de estar en contacto con el suelo. Es aquí donde está en suspensión hasta llegar a la siguiente masa de tierra, que es donde está la caja de reunión, a unos 18 metros. Este tramo en suspensión requiere la siguiente modificación:

Se colocará un pilar de hormigón al comienzo de la suspensión y otro, más grande, entre ésta y la caja de reunión. Se incluye otra imagen para que se aprecie mejor la situación. En esta parte de suspensión, la tubería de PVC será sustituida por una de HG.



Figura 77. Pampojilá.

Esta primera imagen a la izquierda representa el espacio que va desde el comienzo de la tubería en suspensión, donde iría la primera columna, al lugar donde se colocaría el segundo pilar de hormigón, más grande, que diese soporte a la tubería para que llegase a la caja de reunión (en el lugar donde la tubería se encuentra sujeta por palos



Figura 78. Pampojilá.

En esta segunda imagen a la izquierda aparece el tramo que iría desde el pilar que acabamos de mencionar en la imagen anterior hasta la caja de reunión. En ambos tramos, como ya indicamos, la tubería debería ser sustituida por una igual pero de

3.3.4.1.3. CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE COLGANTE.

En el sistema del Parcelamiento Pampojilá, las tuberías pasan por encima del Río Madre Vieja. Por lo visto, a esta altura, según fuentes de información de la misma aldea, el río antes del Huracán Stan medía uno 2m de ancho y estaba rodeado de vegetación por ambos lados. Después de la crecida del río, toda la vegetación y tierra fueron arrancadas y ahora el ancho de la zona clareada llega casi a los 60m. La reparación a corto plazo que se llevó a cabo, reflejada en las dos siguientes imágenes, es muy precaria como se puede observar.



Figura 79. Reparación a corto plazo



**Figura 80. Puente destruido en sistema de Pampojilá.
Vista desde la mitad de la foto anterior hacia la derecha.**

Como se puede observar, el puente que antes existía se ha destruido, además del tramo antes de llegar a él. La idea que se presentó como reforma de largo plazo consiste en un puente colgante de 60m de largo, como se indica en la figura incluida a continuación. En un extremo se colocará un pilar encima de una gran piedra, situada sobre de la línea de los 100 años delimitada por una línea fucsia (punto máximo hasta donde llegó el agua durante la crecida del río) y al otro lado, el otro pilar se colocará adentrándose en la ladera para mayor estabilidad (se cavará un poco hacia dentro de la ladera para poder sedimentar la zapata que lo estabilice y agarre al suelo). Gracias a esto, si se volviese a incrementar el nivel del río, el sistema no se verá afectado en 100 años estadísticamente. El costo es elevado pero ya hay mucha tubería de HG colocada en esta zona que, si se pierde, también supondría una gran pérdida.



Figura 81. Reforma a largo plazo de puente - Pampojilá

3.3.4.1.4. REFUERZO DE PARED CON MURO DE CONTENCIÓN.

En el nacimiento mostrado a continuación, se deben tomar medidas de precaución contra posibles futuros desprendimientos y construir un muro de contención para evitar una posible pérdida de las cajas de captación y de reunión. Si más tierra se desprende de esta pared de la ladera, toda esta parte del sistema se vendrá abajo. Se construirá un muro como se indica en la figura. Observar que en la parte derecha ya existe una sección de piedra que sirve de muro de contención natural. Nosotros construiremos nuestro muro a continuación. Se representa esquemáticamente mediante las líneas amarillas.



Figura 82. Futuro muro de contención

3.3.5. CASOS ESPECIALES.

En este apartado incluyo dos casos llamativos de reconstrucción, un poco más elaborados, ambos a largo plazo:

3.3.5.1. NUEVO NACIMIENTO.

En primer lugar, en el sistema de El Socorro, lo más destacable a nivel técnico es que el nacimiento más alejado de la aldea, que estaba conectado al sistema de distribución, fue afectado por los desprendimientos y las riadas quedándose totalmente seco e inservible. Sin embargo, del lugar de donde había bajado la mayor parte del lodo que formaba dichos desprendimientos y riadas, a unos 120m más arriba, quedó descubierto un nuevo nacimiento, de mayor caudal. Así que, en esta parte del sistema, la labor que se desempeñará será analizar este nuevo nacimiento para conocer el caudal y la calidad de su agua. Una vez garantizada la viabilidad de la fuente, se tomarán datos de la topografía de la zona para poder dimensionar una conexión desde dicho nacimiento al sistema ya existente. Se conectará con otro nacimiento más pequeño que se encuentra a unos 100m más abajo mediante una caja de reunión y, de aquí, se unirá al resto del sistema. Se conocía la existencia de este nuevo nacimiento pero nunca se había podido localizar porque estaba cubierto. Ahora pertenece a la aldea pues las tierras donde se encuentra son de un hombre que les regaló el nacimiento (reflejado por escrito) para que pudiesen utilizarlo legalmente, sin problemas. A continuación se muestra un pequeño esquema de la situación. La flecha en rojo indica el lugar donde se encuentra el nacimiento nuevo y en amarillo se representa donde iría la caja de captación y la tubería de PVC que se instalaría nueva, enterrada en una zanja, hasta el otro nacimiento de menor tamaño donde se unirán los caudales. Se

trata de una reforma a largo plazo porque hay más nacimientos de donde el sistema obtiene el agua que distribuye. Si fuese la única fuente de agua, evidentemente habría que captarla inmediatamente y la reforma sería a corto plazo, probablemente más precaria (sin caja de captación).



Figura 83. Nuevo nacimiento en sistema de El Socorro.

3.3.5.2. SUPERACIÓN DE BARRANCO.

El siguiente caso refleja la elección de un método de reparación sobre otro. Se trata de una sección del sistema de Chichoy.

El problema lo encontramos a unos 500m de la aldea. Es en un lugar donde nace un barranco; por las lluvias se produjo un desprendimiento de tierras que arrastraron las tuberías que pasaban por ahí. A continuación se incluye la vista lateral del barranco.



Figura 84. Chichoy - Foto tomada desde un lateral del barranco

La solución que se le dio a corto plazo fue hacer pasar la tubería directamente por el suelo del barranco. El problema de esta solución se manifiesta ante la posible repetición de un desastre de este tipo. Quizás directamente en la siguiente temporada de lluvia se produzcan fenómenos de erosión suficientes como para arrastrar el sistema arreglado. Con lo cual, se barajaron dos opciones para modificarlo cara al largo plazo.

ALTERNATIVA 1. PUENTE COLGANTE.

Consiste en llevar la tubería sobre el barranco mediante un puente colgante como se representa en la siguiente figura de la vista lateral:

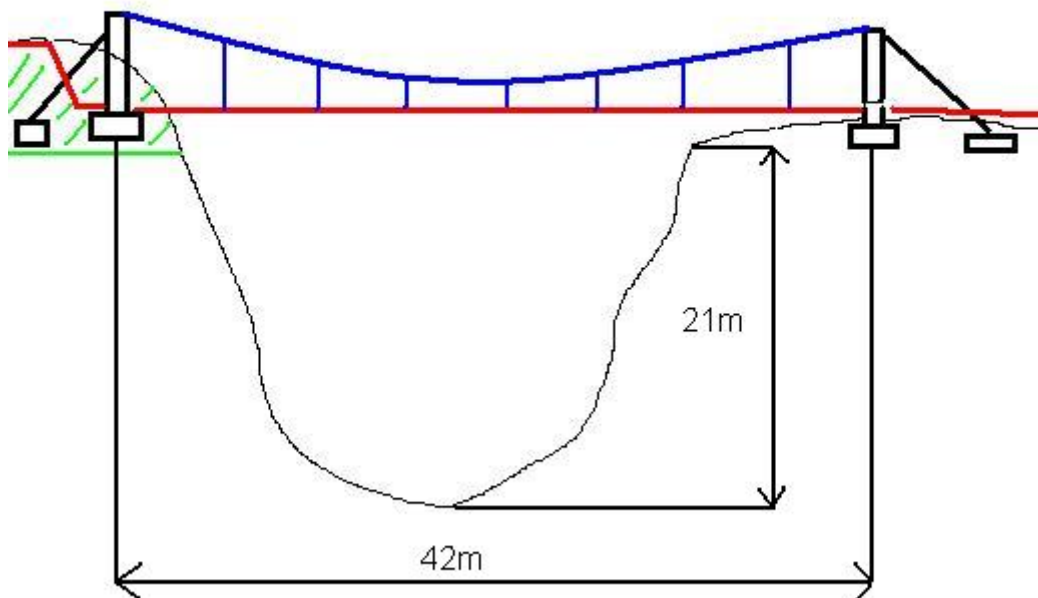


Figura 85. Alternativa 1.

La sección de tierra sombreada en verde simboliza una sección que habría que cavar en la ladera de tal manera que consiguiésemos un mismo nivel de los pilares del puente a ambos lados. La distancia entre pilares es de 42m y la altura total del puente es de 21m. El pilar de la derecha estaría en el punto desde el que fue tomada la foto anterior. En el extremo izquierdo, empleando codos de 45°, la tubería subiría de nuevo a nivel del suelo y se reconectaría con el resto del sistema.

Materiales necesarios para alterativa 1:

- Hormigón para los dos pilares y las dos zapatas.
- Cable acero $\frac{3}{4}$ " \rightarrow 65m
- Cable acero $\frac{1}{2}$ " \rightarrow 42m
- Mordazas \rightarrow 28
- Tubos HG 2" \rightarrow 7
- Tubos PVC 2" \rightarrow 1
- Copla \rightarrow 1
- Adaptadores macho \rightarrow 2
- Codos 45° \rightarrow 2
- Teflón

ALTERNATIVA 2. RODEO DE BARRANCO.

La otra alternativa consiste en bordear el barranco mediante tubería de PVC enterrada en una zanja como se indica en la siguiente figura. La ilustración simboliza una vista aérea del barranco. El lado derecho es desde donde tomamos la anterior foto.

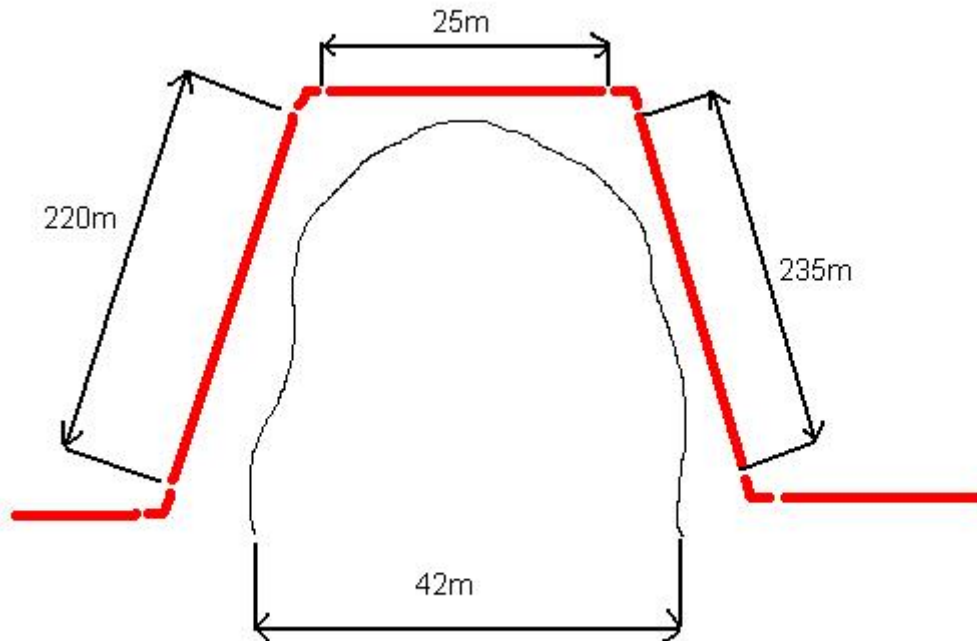


Figura 86. Alternativa 2.

Materiales necesarios para alterativa 2:

- Tubos PVC 2" → 80
- Codos 45° → 4
- Pegamento

VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS:

La primera alternativa es la que ofrece un trayecto más directo a la tubería. Con lo cual, en cuanto a metros de tubería se necesitan menos y las pérdidas de carga en el sistema son menores. Pero por otra parte, construir dicho puente resulta especialmente caro, principalmente por el cable de acero que se necesita y por la tubería de HG que se emplearía. Además, su construcción es mucho más complicada a nivel técnico, con lo que se requeriría una mano de obra bastante más cualificada que en la otra opción. También resultaría un tramo especialmente difícil de reparar si fuese necesario. En la alternativa 2, para instalar la tubería de PVC (más barata que la de HG) simplemente se cava una zanja de 80 cm a 1m de profundidad por donde se quiere llevar la tubería. Ésta se entierra tal cual en dicha zanja.

Por último, si el sistema se fuese a destruir nuevamente en esta sección debido a otra catástrofe las pérdidas materiales serían menores para la alternativa 2 que para la 1. Consecuentemente, se optaría por la alternativa 2.

4. CONCLUSIONES.

En este Proyecto de Fin de Carrera, he realizado un trabajo de campo durante tres meses en Guatemala y una posterior sistematización de los conocimientos manejados y adquiridos para la creación de dicho documento.

Las principales conclusiones obtenidas en el trabajo son las siguientes:

Para elaborar este Proyecto de Fin de Carrera, se ha llevado a cabo con mi participación el diseño y construcción del sistema de abastecimiento de agua de la población de Q'alché, en El Quiché guatemalteco. El sistema de distribución funciona por gravedad, a partir de un manantial situado en las afueras del pueblo, montaña arriba, y dota de conexión domiciliar a 50 familias.

He participado directamente en la reconstrucción de la infraestructura de abastecimiento de agua en 8 poblaciones de la región guatemalteca de Sololá, tras el paso del huracán Stan en octubre de 2005. Los trabajos incluyeron el reconocimiento del sistema para identificar los daños ocasionados y, a partir de lo observado, la elaboración de una lista de materiales con todo lo necesario para las reparaciones a corto plazo. Además, se presentan posibles modificaciones del sistema para el medio y largo plazo, que aseguren la sostenibilidad de la instalación en un futuro.

En el presente texto, a parte de detallar los trabajos de campo antes comentados, se incluye una introducción que expone la problemática global del abastecimiento de agua, un marco teórico en el que se presenta la base fundamental para el diseño y cálculo de las instalaciones y una revisión crítica del trabajo de campo realizado. De este modo, se plantea una visión global del problema del agua y sobre el abastecimiento por gravedad. Se ha pretendido, así mismo, que el texto pueda servir como manual de utilización sobre el terreno para usuarios locales o futuros cooperantes.

La elaboración del Proyecto de Fin de Carrera me ha permitido observar de manera directa, que el trabajo de implementación de sistemas de abastecimiento de agua en comunidades rurales desfavorecidas en PVD tiene una tremenda utilidad ya que contribuye a solventar el problema de la falta de cobertura de algunas de las necesidades más básicas del ser humano. Permite mejorar la salud al abastecer agua segura y favorece la higiene al incrementar la abundancia de agua disponible, que se puede destinar a este fin y, más aún, al incluir las clases y consejos de promoción de salud e higiene

favorecen más este proceso. Pero además de esto, la implementación de sistemas de abastecimiento de agua permite reducir enormemente el tiempo invertido diariamente para recolectarla de fuentes muchas veces a una gran distancia, con el además consiguiente derroche de energía. Este tiempo y energía puede ser reinvertidos en labores más productivas, sobre todo en el caso de las mujeres y los niños, que son quienes normalmente recolectan el agua de dichas fuentes. Los niños pueden disponer de más tiempo para dedicar actividades que van desde los estudios hasta simplemente jugar mientras que las mujeres pueden realizar tareas que aporten mayores ingresos, como pueden ser la recolección de leña, el cultivo de huertos, la elaboración de prendas tejidas a mano destinadas a su posterior venta o dedicar más tiempo a cargo del hogar y de los niños.

En la realización de este tipo de trabajos de ingeniería, las dotes que debe tener un ingeniero se ponen de manifiesto en gran medida y de manera inmediata. Debido a la falta de recursos, se agudiza precisamente el empleo del ingenio para solucionar situaciones apoyándose sólo en el uso de material disponible ya que, o bien no se puede acceder a los materiales que se buscan o el coste de estos convierte una solución en impracticable. Trabajar en estas condiciones sirve de recordatorio para tener en mente que el ingeniero debe estar preparado para la resolución de problemas. El ingeniero que trabaja en estas situaciones y entornos realmente no es solamente un ingeniero como lo que se entiende de manera estándar. En esos contextos, es alguien que debe ser capaz de poder desempeñar casi cualquier papel, ya que en muchísimas ocasiones será el primer y el último escalón en la cadena de trabajo. Sin él, muchas veces las cosas son más difíciles de llevar a cabo o, directamente, no se realizan. La parte del trabajo que en condiciones normales se le aportaría por otros miembros del equipo sencillamente no existe; es él mismo quien las debe aportar. En ocasiones, he tenido que trabajar desde puro ingeniero, en el rediseño de un puente colgante, hasta organizador con los Comités rurales o de relaciones públicas, manteniendo reuniones con alcaldes de distintas municipalidades para coordinar las labores de emergencia entre ONG y gobierno local o ejerciendo labores de puro técnico, bien haciendo reconocimientos topográficos, bien empalmando tuberías de PVC para la reparación de averías. En ocasiones, incluso tener que llegar a representar una fuente de información general, muy influyente, llegando a resolver dudas a cerca de la idónea alimentación infantil o intentando responder lo mejor posible a preguntas tales como si Dios existe.

La experiencia alcanzada en la realización de este Proyecto de fin de Carrera ha servido para adentrarme en la realidad del entorno global en el que nos encontramos. Me ha demostrado la inmensa cantidad de cosas, tanto materiales como de formación, que damos por hechas o sabidas y que, en definitiva, nosotros somos de los pocos afortunados habitantes del mundo que disfrutamos de ellas y de los pocos que no vivimos en un país pobre, tercermundista. Ayuda a darse cuenta y a asimilar que la mayor parte del mundo, fuera de nuestro reducido entorno, vive en condiciones drásticamente diferentes e inferiores. Como pronunció el presidente de Sudáfrica en el congreso de Rio+10, “el mundo es un inmenso océano de pobreza en el que flotan algunos países”.

BIBLIOGRAFÍA:

PARA MARCO SOCIO-POLÍTICO-MEDIOAMBIENTAL:

- Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI), *Nuevas Perspectivas en la Política de Cooperación al Desarrollo de la Unión Europea* (1997).
- Aguirre, Mariano; Filesi, Teresa; González, Mabel (editores), *Globalización y Sistema Internacional. Las Claves para Entender la Realidad Mundial*, Anuario CIP 2000, Icaria Editorial, Centro de Investigaciones para la Paz, Barcelona.
- Alonso, José Antonio; FitzGerald, Valpy (editores), *Financiación del desarrollo y coherencia en las políticas de los donantes*, Los Libros de la Catarata, Madrid, (2003).
- Alvarez Correa, Lily Paulina, *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona [ISSN 1138-9788] , N° 45 (10), 1 de agosto de 1999.
- Banco Mundial, *Indicadores de desarrollo mundial 2005*, Washington D.C. (www.worldbank.org/)
- Banco Mundial, *Informe sobre el desarrollo mundial 2005: Desarrollo sostenible en un mundo dinámico*, Washington D.C, Ed. Banco Mundial. (www.worldbank.org/)
- Beck, U, *¿Qué Es la Globalización?. Falacias del Globalismo, Respuestas a la Globalización*, Ed. Paidós, Barcelona, 1998.
- Boni, A. y Ferrero, G., *Introducción a la Cooperación para el Desarrollo*, Asociación Valenciana de Ingeniería Sin Fronteras 1997.
- Cebrián Abellán, Aurelio, *Algunas Dimensiones Negativas de la Globalización en Iberoamérica. El Ejemplo de Guatemala*, Universidad de Murcia, 2003.
- Cebrián Abellán, A., *Los Indicadores de la Pobreza en Guatemala*, Caravelle, Universidad de Toulouse (en prensa), 1997.
- Estefanía, J, *La Nueva Economía. La Globalización*, Ed. Círculo de Lectores, Barcelona, 1998.
- Gómez Galán, M. y Sainz Ollero, H., *El Sistema Internacional de Cooperación al Desarrollo: una Aproximación a sus Actores e Instrumentos*, Cideal 1999.
- Ine-Sen, *Características Generales de Población y Habitación. Guatemala: Ciudad de Guatemala*, Guatemala, 1996.

- Naciones Unidas *Declaración Universal de los Derechos Humanos*, (Asamblea General), 1948.
- “Naciones Unidas, *Objetivos de la Declaración del Milenio*, Año 2000. www.un.org/millenniumgoals
- Organización Mundial de la Salud, *Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000*.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, *Informe Sobre Desarrollo Humano 2005: Los Objetivos de Desarrollo del Milenio: un Pacto entre las Naciones para Eliminar la Pobreza*, Mundi-Prensa Libros. Madrid.
- Sampedro, José Luis, *El Mercado y la Globalización*, Ediciones Destino, Barcelona, (2002).
- Sampedro, J.L y Berzosa, *Conciencia del Subdesarrollo Veinticinco Años Después*, Ed. Taurus, Madrid, 1996.
- Segeplan, *Orientaciones para una Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial. Ciudad de Guatemala: Servicio General de Planificación*, Guatemala, 1996. (www.segeplan.gob.gt/)
- Segeplan, *Programa de Gobierno 1996-2000. Ciudad de Guatemala: Presidencia de la República*, Guatemala, 1996. (www.segeplan.gob.gt/)
- Sierra Castañer, Manuel, *Desarrollo y Pobreza*, Departamento de Electromagnetismo y Teoría de Circuitos de UPM, (http://www.etc.upm.es/capitulo1_fcd.htm)
- Tomillo Gutiérrez, Unai, *Estudio a cerca del empleo de la bomba manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo*, Febrero 2005. (www.uc3m.es/luc3m/serve/ORI/Cooperación/principal.html).
- Varios autores, *Política Comunitaria de Cooperación para el Desarrollo* (1993).
- Water Supply and Sanitation Collaborative Council, *VISION 21: A shared vision for hygiene, sanitation and water supply and a framework for action*, 2001.

PARA MARCO TEÓRICO Y MARCO PRÁCTICO:

- Jordan Jr, Thomas D., *A Handbook Of Gravity-Flow Water Systems*, ITDG Publishing, 2004.
- López Andrés, Lázaro, *Manual de Hidráulica*. Textos docentes, Publicaciones de la Universidad de Alicante, 1997.

- Rubio Sanjuán, I., *Elementos de Hidráulica General y Aplicada con Motores Hidráulicos*, Editorial Labor, S.A., Barcelona, 1956.
- White, Frank M., *Mecánica de Fluídos*, McGraw-Hill, Madrid, 1990.

APÉNDICE 1: MAPA DE GUATEMALA.



APÉNDICE 2: TABLAS DE PÉRDIDAS DE CARGA EN DISTINTAS TUBERÍAS.

Attachment 34-A, Page 8

RIGID PVC FRICTIONAL HEADLOSS FACTORS

These are the approximate headloss factors, in m/100m (%), for new rigid PVC pipe. Flows are in liters/second.

FLOW	1/2"	3/4"	1	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
0.1	4.2	1.0	0.25	0.08					
0.15	8.8	2.2	0.53	0.17	0.07				
0.2	15.0	3.7	0.9	0.28	0.12				
0.25	22.0	5.5	1.35	0.44	0.18				
0.3	31.0	7.8	1.9	0.6	0.25				
0.35	41.0	10.0	2.45	0.8	0.34				
0.4	53.0	13.0	3.1	1.0	0.43				
0.45	66.0	16.3	4.0	1.25	0.54	0.13			
0.5		19.0	4.8	1.5	0.65	0.16			
0.55		23.5	5.6	1.8	0.78	0.19			
0.6		27.5	6.6	2.1	0.9	0.22			
0.65		32.0	7.8	2.4	1.04	0.25			
0.7		36.0	8.7	2.7	1.19	0.28			
0.75		41.0	9.9	3.1	1.32	0.33	0.1		
0.8		45.0	11.0	3.5	1.5	0.37	0.12		
0.85		52.0	12.5	4.0	1.7	0.41	0.14		
0.9		57.0	14.0	4.5	1.9	0.45	0.15		
0.95		63.0	15.0	4.9	2.1	0.5	0.17		
1.0			16.5	5.4	2.25	0.55	0.18	0.08	
1.05			18.0	5.8	2.5	0.6	0.20	0.09	
1.1			19.5	6.3	2.7	0.67	0.22	0.1	
1.15			21.5	6.9	2.95	0.71	0.24	0.11	
1.2			23.0	7.3	3.2	0.78	0.26	0.12	
1.3			26.5	8.6	3.75	0.9	0.29	0.13	
1.4			30.0	10.0	4.25	1.0	0.34	0.15	
1.5			35.0	11.2	4.9	1.15	0.39	0.17	
1.6			39.0	12.5	5.5	1.3	0.43	0.19	
1.7			44.0	14.2	6.05	1.45	0.49	0.21	
1.8			49.0	15.9	6.9	1.6	0.54	0.24	
1.9			55.0	17.4	7.5	1.8	0.6	0.26	
2.0			60.0	19.0	8.0	2.0	0.66	0.28	
2.2				22.5	9.7	2.35	0.79	0.34	
2.4				26.8	11.5	2.75	0.9	0.4	
2.6				31.0	13.3	3.2	1.05	0.45	
2.8				35.1	15.2	3.7	1.2	0.52	
3.0				40.0	17.0	4.2	1.36	0.6	
3.2				45.0	19.3	4.7	1.52	0.68	
3.4				50.0	21.9	5.25	1.7	0.75	
3.6				56.0	24.0	5.8	1.9	0.84	0.2
3.8				62.0	26.0	6.3	2.1	0.9	0.22
4.0				69.0	29.0	7.0	2.3	1.0	0.24
4.5					36.0	8.8	2.8	1.2	0.3
5.0					44.0	10.5	3.5	1.5	0.37
5.5					62.0	12.5	4.2	1.75	0.44
6.0						14.7	4.9	2.1	0.52
6.5						17.0	5.6	2.4	0.6
7.0						19.5	6.5	2.8	0.7

Reference Table

GI FRICTIONAL HEADLOSS FACTORS

These are the approximate headloss factors, in m/100m (%), for aged (10-15 years) GI pipe. Flows are in liters/second.

FLOW	$\frac{1}{2}$ " GI	1" GI	1 $\frac{1}{2}$ " GI	2" GI	3" GI
0.10	5.87	0.38			
0.15	12.24	0.82			
0.20	21.43	1.33	0.20		
0.225	26.53	1.68	0.22		
0.25	31.63	2.04	0.24		
0.30	44.90	2.96	0.40		
0.35	58.16	3.82	0.52		
0.40	74.49	4.79	0.66	0.22	
0.45	91.84	6.02	0.83	0.27	
0.50		7.14	1.02	0.33	
0.55		8.67	1.19	0.39	
0.60		10.20	1.43	0.46	
0.65		11.73	1.63	0.53	
0.675		12.76	1.68	0.55	
0.70		13.27	1.73	0.58	
0.75		15.31	2.14	0.67	
0.80		17.35	2.35	0.77	
0.85		18.88	2.65	0.87	
0.90		21.43	2.86	0.92	
0.95		23.47	3.27	1.02	
1.00		25.51	3.57	1.12	
1.05		29.39	3.83	1.22	
1.10		30.61	4.18	1.33	
1.15		34.69	4.59	1.48	
1.20		35.71	4.92	1.58	
1.30		40.82	5.71	1.84	0.22
1.40		47.96	6.63	2.14	0.26
1.50		54.08	7.55	2.45	0.28
1.60		61.22	8.47	2.65	0.32
1.70		67.35	9.49	3.06	0.35
1.80		76.53	10.51	3.47	0.41
1.90			11.73	3.78	0.43
2.00			12.76	4.08	0.49
2.20			15.31	4.90	0.57
2.40			17.86	5.71	0.66
2.60			20.41	6.63	0.81
2.80			24.49	7.65	0.92
3.00			26.53	8.67	1.02
3.20			29.59	9.69	1.12
3.40			33.67	10.92	1.32

Reference Table X (Cont'd)

FLOW	$\frac{1}{2}$ " GI	1" GI	1 $\frac{1}{2}$ " GI	2" GI	3" GI
3.60			37.76	12.24	1.43
3.80			40.82	13.27	1.58
4.00			45.92	14.79	1.73
4.50			56.12	17.86	2.09
5.00				21.43	2.55
5.50				26.53	3.06
6.00				30.61	3.67
6.50				35.71	4.18
7.00				40.82	4.85

Reference Table XI

HDP FRICTIONAL HEADLOSS FACTORS

These are the approximate headloss factors, in m/100m (%) of HDP pipe manufactured according to UNICEF specifications. Due to the variations in size and quality by different manufacturers, no exact headloss factors will ever be possible.

Headloss factors less than 0.20% are considered negligible. Factors are provided for up to the maximum recommended flow velocity of 3.0 m/sec; factors for flow velocities of less than 0.7 m/sec are flagged by an asterisk (*). Flows are for liters/second.

CLASS III (6 Kg./cm²)

FLOW	32mm	50mm	63mm	90mm
0.10	0.22*			
0.12	0.30*			
0.14	0.38*			
0.16	0.48*			
0.18	0.58*			
0.20	0.72*			
0.225	0.87*			
0.25	1.08*			
0.275	1.27*			
0.30	1.42*			
0.35	1.88*	0.22*		
0.40	2.44	0.28*		
0.45	2.87	0.34*		
0.50	3.70	0.40*		
0.55	4.1	0.47*		
0.60	4.9	0.56*		
0.65	5.6	0.63*		
0.675	5.9	0.67*		
0.70	6.3	0.72*	0.25*	
0.75	7.3	0.81*	0.28*	
0.80	8.2	0.90*	0.31*	
0.90	10.0	1.11*	0.37*	
1.00	11.9	1.34*	0.45*	
1.10	14.1	1.57	0.54*	
1.20	16.5	1.90	0.63*	
1.30	19.0	2.18	0.73*	
1.40	21.6	2.46	0.82*	
1.60	27.4	3.05	1.03*	
1.80	33.6	3.81	1.30	0.24*
2.00		4.6	1.55	0.28*
2.20		5.5	2.46	0.32*
2.50		6.7	2.24	0.40*
2.70		8.3	2.74	0.49*
3.00		9.5	3.08	0.56*
3.20		11.2	3.77	0.67*

FLOW	50mm	63mm	90mm
3.50	12.6	4.1	0.74
3.70	14.4	4.8	0.84
4.00	15.7	5.4	0.96
4.20	18.1	6.0	1.04
4.50	20.1	6.6	1.06
4.70		7.4	1.31
5.00		7.8	1.41
5.50		9.4	1.70
6.00		11.1	2.00
6.50		12.3	2.24
7.00		14.6	2.97

20mm HDP is only available
in Class IV series

Reference Table

CLASS IV (10 Kg./cm²)

FLOW	20mm	32mm	50mm	63mm	90mm
0.10	3.1*	0.31*			
0.12	4.5*	0.40*			
0.14	5.6*	0.52*			
0.16	7.3	0.67*			
0.18	9.0	0.81*			
0.20	10.6	0.99*			
0.225	13.4	1.22*			
0.25	15.7	1.43*			
0.275	18.5	1.74*			
0.30	21.8	2.02*	0.25*		
0.35	28.0	2.71*	0.31*		
0.40	36.2	3.36	0.40*		
0.45	45	4.0	0.49*		
0.50	54	4.9	0.59*		
0.55	63	5.7	0.71*		
0.60	73	6.7	0.81*	0.27*	
0.65		7.8	0.94*	0.31*	
0.675		8.4	1.00*	0.34*	
0.70		8.8	1.06*	0.36*	
0.75		10.1	1.23*	0.40*	
0.80		11.2	1.34*	0.45*	
0.90		13.4	1.67*	0.54	
1.00		16.4	2.00*	0.66*	
1.10		19.8	2.37	0.78*	
1.20		22.6	2.77	0.92*	
1.30		26.4	3.19	1.08*	
1.40		30.2	3.61	1.23*	0.22*
1.60		37.5	4.5	1.52	0.28*
1.80			5.6	1.85	0.35*
2.00			6.7	2.24	0.41*
2.20			8.3	2.69	0.49*
2.50			10.1	3.25	0.60*
2.70			12.2	3.92	0.73*
3.00			13.9	4.6	0.84
3.20			17.4	5.5	0.99
3.50			18.9	6.2	1.11
3.70			21.3	6.9	1.29
4.00			23.7	7.7	1.43
4.20				8.7	1.57
4.50				9.5	1.78
4.70				10.8	1.97
5.00				11.8	2.13
5.50				13.4	2.46
6.00				15.9	2.91
6.50					3.36
7.00					3.89

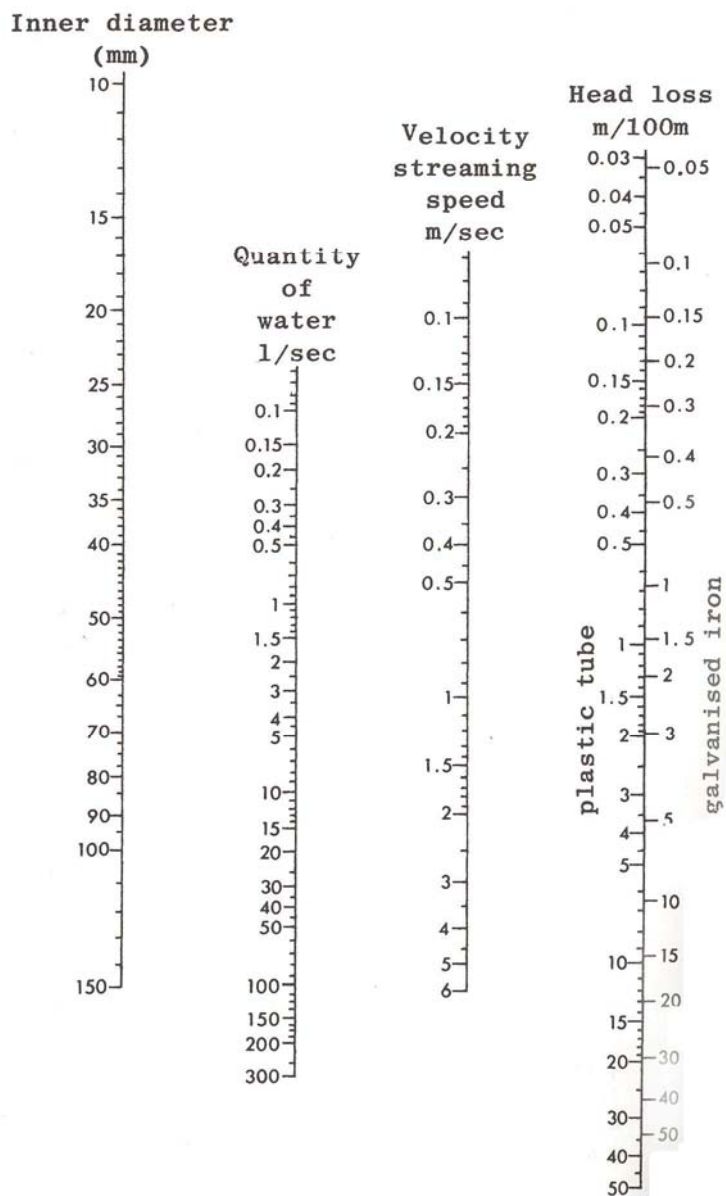
PÉRDIDA DE CARGA EN TUBERÍAS DE PVC (Tablas de aproximación)			
Ø	m³/h	P. nominal 6 atm. m.c.a por 100 m de tubería.	P. nominal 10 atm. m.c.a por 100 m de tubería.
20	1,00	6,00	6,20
	0,75	3,50	3,90
	0,50	1,50	1,70
25	2,50	10,00	
	2,00	8,00	9,00
	1,50	4,50	5,50
	1,00	2,20	2,60
	0,50		0,60
32	3,70	6,00	
	3,00	5,00	7,00
	2,50	4,00	4,50
	2,00	2,50	3,00
	1,50		1,60
40	6,00	5,50	
	5,00	4,50	5,00
	4,00	2,80	3,00
	3,00	1,60	1,80
50	8,50	4,20	
	7,50	3,00	3,50
	6,00	1,70	2,00
	5,00	1,30	1,50
63	16,00	3,00	
	13,00	2,00	2,50
	10,00	1,40	1,70
	8,00	1,00	1,20
75	24,00	3,00	
	20,00	2,10	
	18,00	1,90	2,20
	16,00	1,40	1,70
	15,00	1,20	1,50
	12,00	0,90	1,10
90	32,00	1,80	

	25,00	1,30	1,50
	20,00	0,80	1,00
	15,00	0,50	0,60

APÉNDICE 3: NOMOGRAMA DE CAUDALES PARA PLÁSTICOS Y HG.

TABLE XII

Flow Nomograph For Plastic & GI Pipe



APÉNDICE 4: TABLAS PARA LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE DARCY Y PÉRDIDAS DE CARGA DEDUCIDAS A PARTIR DE ÉSTA.

<p style="text-align: center;">TABLA XI Para la aplicación de la fórmula (4) de Darcy</p>				
Valores de b_1	Valores de $\frac{J}{Q^2}$	Diá- metro D m.	Valores de b_1	Valores de $\frac{J}{Q^2}$
0,003 497				
0,001 804	116 790 000	0,32	0,008 547	1,057 1
0,001 154	2 338 500	0,33	0,000 546	0,904 70
0,000 986	445 600	0,34	0,000 545	0,777 83
0,000 938	250 310	0,35	0,000 543	0,670 42
0,000 830	52 561	0,36	0,000 542	0,581 26
0,000 765	15 874	0,37	0,000 541	0,505 91
0,000 722	6 020 9	0,38	0,000 541	0,442 75
0,000 691	2 666 1	0,39	0,000 540	0,388 11
0,000 668	1 321 9	0,40	0,000 539	0,341 34
0,000 650	713 81	0,41	0,000 538	0,301 12
0,000 636	412 42	0,42	0,000 537	0,266 4
0,000 624	251 25	0,43	0,000 537	0,236 87
0,000 614	160 01	0,44	0,000 536	0,210 76
0,000 606	105 84	0,45	0,000 535	0,188 01
0,000 599	72 222	0,46	0,000 535	0,168 44
0,000 593	50 639	0,47	0,000 534	0,150 99
0,000 587	36 301	0,48	0,000 533	0,135 65
0,000 583	26 626	0,49	0,000 533	0,122 36
0,000 578	19 836	0,50	0,000 532	0,110 39
0,000 575	15 059	0,55	0,000 530	0,068 288
0,000 571	11 571	0,60	0,000 528	0,044 031
0,000 568	9 018 5	0,65	0,000 526	0,029 397
0,000 565	7 109 2	0,70	0,000 525	0,020 256
0,000 563	5 672 2	0,75	0,000 524	0,014 319
0,000 560	4 561 0	0,80	0,000 523	0,010 350
0,000 558	3 705 2	0,85	0,000 522	0,007 628 9
0,000 556	3 034 5	0,90	0,000 521	0,005 721 5
0,000 554	2 503 6	0,95	0,000 520	0,003 461 5
0,000 553	2 083 6	1,00	0,000 519	0,003 365 5
0,000 551	1 742 0	1,10	0,000 518	0,002 090 0
0,000 550	1 467 7	1,20	0,000 517	0,001 350 0
0,000 548	1 241 2			

Velocidad U , en metros por segundo, y caudal Q en metros cúbicos por segundo, en función del diámetro D (de diámetros 50 a 500 mm.), y la pérdida de carga, J , por metro lineal de conducción, deducida de la fórmula de Darcy

J	$D = 0,010 \text{ m.}$ $\Omega = 0,000079 \text{ m.}^2$		$D = 0,020 \text{ m.}$ $\Omega = 0,000314 \text{ m.}^2$		$D = 0,027 \text{ m.}$ $\Omega = 0,000573 \text{ m.}^2$	
	U	Q	U	Q	U	Q
0,0001	0,012	0,00000095	0,021	0,0000066	0,026	0,0000149
0,0002	0,013	0,00000103	0,029	0,0000091	0,036	0,0000206
0,0003	0,019	0,0000015	0,035	0,0000110	0,044	0,0000252
0,0004	0,023	0,0000018	0,041	0,0000129	0,052	0,0000298
0,0005	0,026	0,0000021	0,045	0,0000141	0,057	0,0000307
0,0006	0,027	0,0000021	0,049	0,0000154	0,062	0,0000355
0,0007	0,029	0,0000023	0,054	0,0000169	0,067	0,0000384
0,0008	0,033	0,0000026	0,058	0,0000182	0,072	0,0000413
0,0009	0,035	0,0000028	0,062	0,0000195	0,078	0,0000447
0,001	0,037	0,0000029	0,066	0,0000207	0,083	0,0000476
0,002	0,053	0,0000042	0,093	0,0000292	0,117	0,0000670
0,003	0,064	0,0000051	0,113	0,0000355	0,142	0,0000814
0,004	0,074	0,0000058	0,130	0,0000408	0,163	0,0000934
0,005	0,083	0,0000066	0,146	0,0000458	0,184	0,000105
0,006	0,090	0,0000071	0,155	0,0000487	0,199	0,000114
0,007	0,098	0,0000077	0,173	0,0000543	0,218	0,000125
0,008	0,104	0,0000082	0,185	0,0000581	0,231	0,000132
0,009	0,111	0,0000088	0,196	0,0000615	0,246	0,000141
0,01	0,117	0,0000092	0,206	0,0000647	0,259	0,000148
0,015	0,143	0,0000113	0,251	0,0000788	0,316	0,000181
0,02	0,165	0,0000130	0,290	0,0000911	0,365	0,000209
0,025	0,185	0,0000146	0,325	0,000102	0,409	0,000234
0,03	0,202	0,0000159	0,356	0,000112	0,448	0,000257
0,035	0,219	0,0000173	0,385	0,000121	0,484	0,000277
0,04	0,234	0,0000185	0,412	0,000129	0,518	0,000297

J	$D = 0,03 \text{ m.}$ $\Omega = 0,000707 \text{ m.}^2$		$D = 0,04 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00126 \text{ m.}^2$		$D = 0,05 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00196 \text{ m.}^2$	
	U	Q	U	Q	U	Q
0,0001	0,028	0,0000198	0,034	0,000043	0,040	0,000078
0,0002	0,039	0,0000276	0,048	0,000060	0,056	0,00011
0,0003	0,048	0,0000339	0,058	0,000073	0,068	0,00013
0,0004	0,056	0,0000396	0,069	0,000087	0,080	0,00016
0,0005	0,062	0,0000438	0,073	0,000094	0,088	0,00017
0,0006	0,067	0,0000474	0,082	0,000103	0,096	0,00019
0,0007	0,073	0,0000516	0,089	0,000112	0,104	0,00020
0,0008	0,078	0,0000551	0,096	0,000121	0,112	0,00022
0,0009	0,084	0,0000594	0,103	0,000130	0,120	0,00024
0,001	0,090	0,0000636	0,110	0,000139	0,128	0,00025
0,002	0,126	0,0000891	0,154	0,000194	0,180	0,00035
0,003	0,154	0,000109	0,189	0,000238	0,220	0,00043
0,004	0,176	0,000124	0,216	0,000272	0,252	0,00049
0,005	0,199	0,000141	0,244	0,000307	0,284	0,00056
0,006	0,216	0,000153	0,264	0,000333	0,308	0,00060
0,007	0,235	0,000166	0,288	0,000363	0,336	0,00066
0,008	0,249	0,000176	0,305	0,000384	0,356	0,00070
0,009	0,266	0,000188	0,326	0,000411	0,380	0,00074
0,01	0,280	0,000198	0,343	0,000432	0,400	0,00078
0,015	0,342	0,000242	0,418	0,000527	0,488	0,00096
0,02	0,395	0,000279	0,484	0,000610	0,564	0,00111
0,025	0,442	0,000312	0,542	0,000683	0,632	0,00124
0,03	0,484	0,000342	0,593	0,000737	0,692	0,00136
0,035	0,524	0,000370	0,641	0,000808	0,748	0,00147
0,04	0,560	0,000396	0,686	0,000865	0,800	0,00157
0,045	0,594	0,000420	0,727	0,000916	0,848	0,00166
0,05	0,624	0,000441	0,765	0,000964	0,892	0,00175
0,06	0,686	0,000485	0,834	0,00105	0,980	0,00192
0,07	0,742	0,000525	0,909	0,00115	1,060	0,00208
0,08	0,792	0,000560	0,973	0,00123	1,122	0,00220
0,09	0,840	0,000594	1,029	0,00130	1,200	0,00235
0,10	0,885	0,000626	1,084	0,00137	1,264	0,00248
0,12	0,969	0,000685	1,187	0,00150	1,384	0,00271
0,15	1,084	0,000766	1,327	0,00166	1,548	0,00303
0,20	1,252	0,001084	1,533	0,00193	1,783	0,00350

J	$D = 0,06 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00283 \text{ m.}^2$		$D = 0,07 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00385 \text{ m.}^2$		$D = 0,081 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00515 \text{ m.}^2$	
	U	Q	U	Q	U	Q
0,0001	0,045	0,00013	0,050	0,00019	0,055	0,00028
0,0002	0,063	0,00018	0,070	0,00027	0,066	0,00034
0,0003	0,077	0,00022	0,085	0,00033	0,093	0,00048
0,0004	0,090	0,00025	0,100	0,00038	0,109	0,00056
0,0005	0,099	0,00028	0,110	0,00042	0,120	0,00062
0,0006	0,108	0,00031	0,120	0,00046	0,131	0,00067
0,0007	0,117	0,00033	0,129	0,00049	0,142	0,00073
0,0008	0,126	0,00036	0,139	0,00053	0,153	0,00079
0,0009	0,135	0,00038	0,149	0,00057	0,164	0,00084
0,001	0,144	0,00041	0,159	0,00061	0,175	0,00090
0,002	0,203	0,00057	0,224	0,00086	0,246	0,00127
0,003	0,248	0,00070	0,274	0,00105	0,300	0,00154
0,004	0,284	0,00080	0,314	0,00121	0,345	0,00178
0,005	0,321	0,00091	0,354	0,00136	0,388	0,00200
0,006	0,347	0,00098	0,383	0,00147	0,420	0,00216
0,007	0,379	0,00107	0,418	0,00161	0,450	0,00236
0,008	0,401	0,00113	0,443	0,00171	0,486	0,00250
0,009	0,428	0,00121	0,473	0,00182	0,519	0,00267
0,01	0,451	0,00128	0,498	0,00191	0,546	0,00281
0,015	0,550	0,00156	0,598	0,00229	0,666	0,00343
0,02	0,636	0,00180	0,702	0,00270	0,770	0,00397
0,025	0,713	0,00202	0,787	0,00303	0,863	0,00444
0,03	0,780	0,00221	0,862	0,00332	0,945	0,00487
0,035	0,843	0,00239	0,921	0,00345	1,021	0,00526
0,04	0,902	0,00255	0,996	0,00372	1,092	0,00562
0,045	0,956	0,00271	1,056	0,00407	1,158	0,00596
0,05	1,006	0,00285	1,111	0,00428	1,218	0,00627
0,06	1,105	0,00313	1,220	0,00470	1,338	0,00689
0,07	1,195	0,00338	1,321	0,00509	1,447	0,00745
0,08	1,276	0,00361	1,409	0,00542	1,515	0,00780
0,09	1,353	0,00382	1,494	0,00574	1,638	0,00844
0,10	1,425	0,00402	1,574	0,00606	1,725	0,00888
0,12	1,560	0,00445	1,723	0,00663	1,889	0,00973
0,15	1,745	0,00494	1,927	0,00732	2,113	0,01188
0,20	2,016	0,00571	2,226	0,00857	2,441	0,01257

J	$D = 0,90 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00636 \text{ m.}^2$		$D = 0,10 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00785 \text{ m.}^2$		$D = 0,108 \text{ m.}$ $\Omega = 0,00916 \text{ m.}^2$	
	U	Q	U	Q	U	Q
0,0001	0,058	0,00037	0,062	0,00049	0,065	0,00059
0,0002	0,082	0,00052	0,087	0,00068	0,060	0,00082
0,0003	0,099	0,00063	0,105	0,00082	0,110	0,00101
0,0004	0,116	0,00074	0,124	0,00097	0,129	0,00118
0,0005	0,128	0,00081	0,136	0,00107	0,142	0,00130
0,0006	0,140	0,00089	0,149	0,00117	0,155	0,00142
0,0007	0,151	0,00096	0,161	0,00126	0,168	0,00154
0,0008	0,163	0,00104	0,174	0,00137	0,181	0,00166
0,0009	0,175	0,00111	0,186	0,00146	0,194	0,00178
0,001	0,186	0,00118	0,198	0,00155	0,207	0,00190
0,002	0,262	0,00167	0,279	0,00219	0,291	0,00267
0,003	0,320	0,00204	0,341	0,00268	0,355	0,00325
0,004	0,367	0,00233	0,391	0,00307	0,407	0,00373
0,005	0,413	0,00263	0,440	0,00345	0,459	0,00420
0,006	0,448	0,00285	0,477	0,00374	0,497	0,00455
0,007	0,489	0,00311	0,521	0,00409	0,543	0,00497
0,008	0,518	0,00329	0,552	0,00433	0,575	0,00527
0,009	0,553	0,00352	0,589	0,00462	0,614	0,00562
0,01	0,582	0,00370	0,620	0,00487	0,646	0,00592
0,015	0,710	0,00452	0,756	0,00593	0,788	0,00722
0,02	0,821	0,00522	0,874	0,00686	0,911	0,00834
0,025	0,920	0,00585	0,980	0,00769	1,021	0,00935
0,03	1,007	0,00640	1,073	0,00812	1,118	0,01024
0,035	1,088	0,00692	1,159	0,00910	1,208	0,01107
0,04	1,164	0,00740	1,240	0,00973	1,292	0,01183
0,045	1,244	0,00791	1,314	0,01031	1,370	0,01255
0,05	1,298	0,00826	1,383	0,01086	1,441	0,01320
0,06	1,426	0,00907	1,519	0,01192	1,583	0,01542
0,07	1,542	0,00981	1,603	0,01258	1,712	0,01568
0,08	1,647	0,01047	1,755	0,01378	1,828	0,01674
0,09	1,746	0,01110	1,860	0,01460	1,938	0,01775
0,10	1,859	0,01170	1,959	0,01538	2,041	0,01869
0,12	2,014	0,01281	2,145	0,01684	2,235	0,02047
0,15	2,252	0,01532	2,399	0,01883	2,500	0,02290
0,20	2,602	0,01655	2,771	0,02175	2,888	0,02645

Que da las pérdidas de carga en metros por kilómetro, en función del gasto : Q , en litros por segundo, y diámetro D , en milímetros

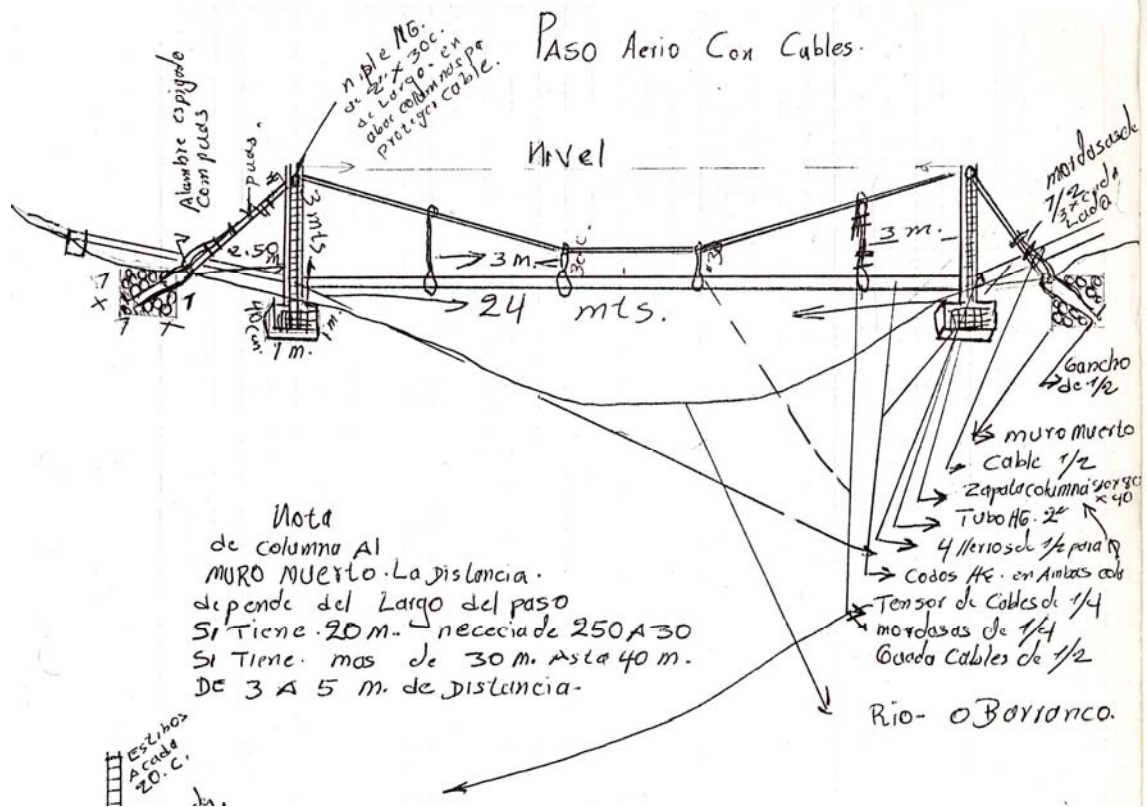
Q	Diámetro							
	$D = 20$	30	40	50	60	70	80	90
0,05	3,65	0,39	0,08	0,02	0,01	—	—	—
0,10	14,60	1,56	0,33	0,10	0,04	0,02	0,01	—
0,20	58,40	6,26	1,31	0,40	0,15	0,07	0,03	0,02
0,30	131,00	14,10	2,96	0,89	0,34	0,15	0,07	0,04
0,40	234,00	25,00	5,25	1,59	0,60	0,27	0,13	0,07
0,50	365,00	39,10	8,21	2,48	0,94	0,42	0,21	0,11
0,60	526,00	56,30	11,80	3,57	1,35	0,60	0,30	0,16
0,70	716,00	76,60	16,10	4,86	1,84	0,82	0,41	0,22
0,80	935,00	100,00	21,00	6,35	2,41	1,07	0,53	0,29
0,90	—	127,00	26,60	8,04	3,05	1,35	0,67	0,36
1,00	—	156,00	32,80	9,92	3,76	1,67	0,83	0,45
1,25	—	244,00	51,30	15,50	5,88	2,60	1,29	0,70
1,50	—	352,00	73,90	23,30	8,46	3,75	1,86	1,00
1,75	—	479,00	101,00	30,40	11,50	5,10	2,53	1,37
2,00	—	626,00	131,00	39,70	15,00	6,66	3,30	1,78
2,25	—	792,00	166,00	50,20	19,00	8,43	4,18	2,26
2,50	—	—	205,00	62,00	23,50	10,40	5,16	2,70

Q	$D = 50$	60	70	80	90	100	125	150
2,75	75	28	12,6	6,3	3,4	1,95	0,61	0,24
3,00	89	34	15,0	7,4	4,0	2,32	0,73	0,28
3,50	122	46	20,4	10,1	5,5	3,15	0,99	0,39
4,00	159	60	26,7	13,2	7,1	4,12	1,29	0,51
4,50	201	76	33,7	16,7	9,0	5,21	1,64	0,64
5,00	248	94	41,6	20,7	11,1	6,44	2,02	0,79
5,50	300	114	50,4	25,0	13,5	7,79	2,45	0,96
6,00	357	135	60,0	29,7	16,1	9,27	2,91	1,14
6,50	419	159	70,4	34,9	18,8	10,90	3,42	1,34
7,00	486	184	81,6	40,5	21,9	12,60	3,97	1,55
8,00	635	241	107,0	52,9	28,5	16,50	5,18	2,02
9,00	804	305	135,0	66,9	36,1	20,90	6,56	2,56
10,00	—	376	167,0	82,6	44,6	25,7	8,09	3,16

Q	$D = 80$	90	100	125	150	175	200	225
11	100	54	31,2	9,8	3,8	1,73	0,87	0,48
12	119	64	37,1	11,7	4,6	2,06	1,04	0,57
13	140	75	43,5	13,7	5,3	2,42	1,22	0,67
14	162	87	50,5	15,9	6,2	2,81	1,42	0,78
15	186	100	57,9	18,2	7,1	3,22	1,63	0,89
16	211	114	65,9	20,7	8,1	3,67	1,85	1,01
17	239	129	74,4	23,4	9,1	4,14	2,09	1,14
18	268	144	83,4	26,2	10,2	4,64	2,34	1,28
19	298	161	93,0	29,2	11,4	5,17	2,61	1,43
20	330	178	103,0	32,4	12,6	5,73	2,89	1,58
22	400	216	125,0	39,2	15,3	6,93	3,50	1,92
24	—	257	148,0	46,6	18,2	8,25	4,16	2,28
26	—	301	174,0	54,7	21,4	9,68	4,89	2,68
28	—	—	—	63,5	24,8	11,20	5,67	3,10
30	—	—	—	72,8	28,4	12,90	6,50	3,56
32	—	—	—	82,9	32,4	14,70	7,40	4,05
34	—	—	—	93,6	36,5	16,60	8,35	4,58

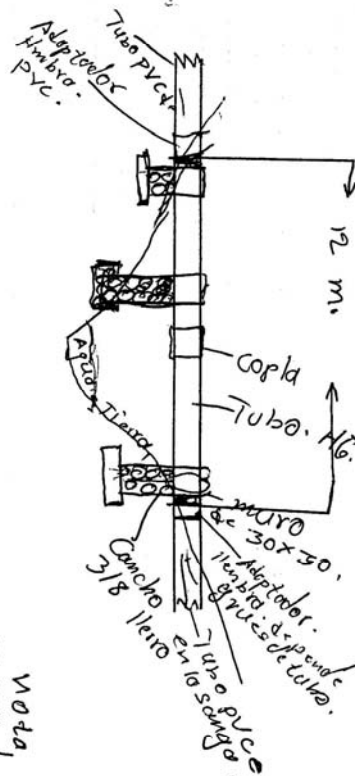
Q	Diámetro							
	D = 125	150	175	200	225	250	275	300
28	63,5	24,8	11,2	5,67	3,10	1,81	1,12	0,72
30	72,8	28,4	12,9	6,50	3,56	2,08	1,28	0,82
32	82,9	32,4	14,7	7,40	4,05	2,37	1,46	0,94
34	93,6	36,5	16,6	8,35	4,58	2,68	1,65	1,06
36	105,0	41,0	18,6	9,37	5,13	3,00	1,85	1,17
38	117,0	45,6	20,7	10,40	5,72	3,34	2,06	1,31
40	129,0	50,6	22,9	11,60	6,34	3,70	2,28	1,47
42	143,0	55,8	25,3	12,70	6,98	4,08	2,51	1,62
45	164,0	64,0	29,0	14,60	8,02	4,69	2,89	1,85
50	202,0	79,0	35,0	18,10	9,90	5,79	3,56	2,29
55	245,0	95,6	43,3	21,9	12,00	7,00	4,31	2,77
60	291,0	114,0	51,5	26,0	14,30	8,33	5,13	3,30
65	—	—	60,5	30,50	16,70	9,78	6,02	3,87
Q	D = 175	200	225	250	275	300	350	400
65	60,5	30,5	16,7	9,78	6,02	3,87	1,77	0,90
70	70,2	35,4	19,4	11,30	6,98	4,49	2,05	1,04
75	80,5	40,6	22,3	13,00	8,01	5,15	2,36	1,20
80	91,6	46,2	25,3	14,80	9,12	5,86	2,68	1,36
90	116,0	58,5	32,1	18,70	11,5	7,42	3,39	1,73
100	143,0	72,3	39,6	23,10	14,2	9,16	4,19	2,13
Q	D = 225	250	275	300	350	400	450	500
110	47,9	28,0	17,2	11,1	5,07	2,58	1,42	0,83
120	57,0	33,3	20,5	13,2	6,03	3,07	1,69	0,99
130	66,9	39,1	24,1	15,5	7,08	3,60	1,98	1,17
140	77,6	45,4	27,9	17,9	8,21	4,18	2,30	1,35
150	89,1	52,1	32,1	20,6	9,42	4,79	2,64	1,55
160	101,0	59,2	36,5	23,4	10,70	5,45	3,01	1,77
Q	D = 275	300	350	400	450	500	550	600
170	41,2	26,5	12,1	6,16	3,39	1,99	1,23	0,79
180	46,2	29,7	13,6	6,90	3,80	2,23	1,38	0,89
190	51,4	33,1	15,1	7,69	4,24	2,49	1,54	0,99
200	57,0	36,6	16,8	8,52	4,70	2,76	1,71	1,10
220	69,0	44,3	20,3	10,30	5,68	3,34	2,06	1,33
240	82,1	52,7	24,1	12,30	6,76	3,97	2,46	1,58
Q	D = 350	400	450	500	550	600	650	700
260	28,3	14,4	7,94	4,66	2,88	1,86	1,24	0,85
280	32,8	16,7	9,21	5,41	3,34	2,16	1,44	0,99
300	37,7	19,2	10,60	6,21	3,84	2,47	1,65	1,14
325	44,2	22,5	12,40	7,28	4,50	2,90	1,94	1,34
350	51,3	26,1	14,40	8,45	5,22	3,37	2,25	1,55
375	58,9	30,0	16,50	9,70	5,99	3,87	2,58	1,78
400	—	—	18,80	11,00	6,82	4,40	2,94	2,02
450	—	—	23,80	14,00	8,63	5,57	3,72	2,56
Q	D = 450	500	550	600	650	700	800	900
400	18,8	11,0	6,82	4,40	2,94	2,02	1,03	0,57
450	23,8	14,0	8,63	5,57	3,72	2,56	1,31	0,72
500	29,4	17,2	10,70	6,87	4,59	3,16	1,61	0,89
550	35,5	20,9	12,90	8,32	5,56	3,82	1,95	1,08
600	42,3	24,8	15,30	9,90	6,61	4,55	2,32	1,29
650	49,6	29,1	18,00	11,60	7,76	5,34	2,73	1,51

[illegible]



Paso Sanjon sin Cable

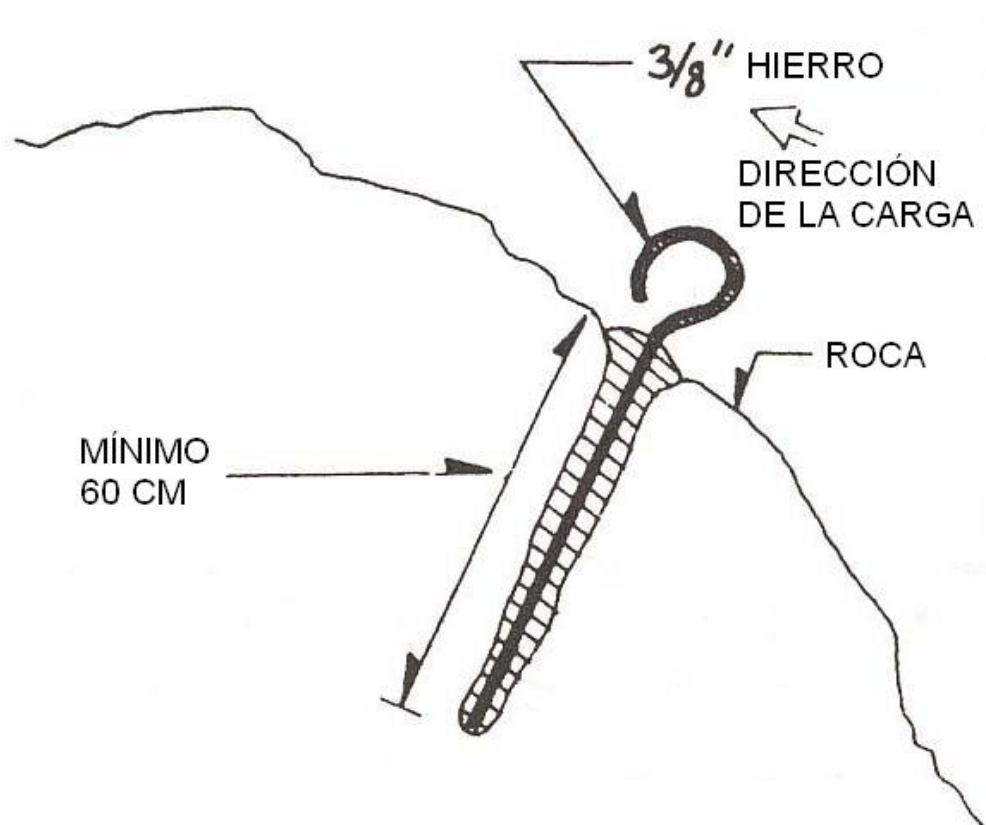
SHEET NO. _____ of _____ DATE _____
PROJECT NO. _____



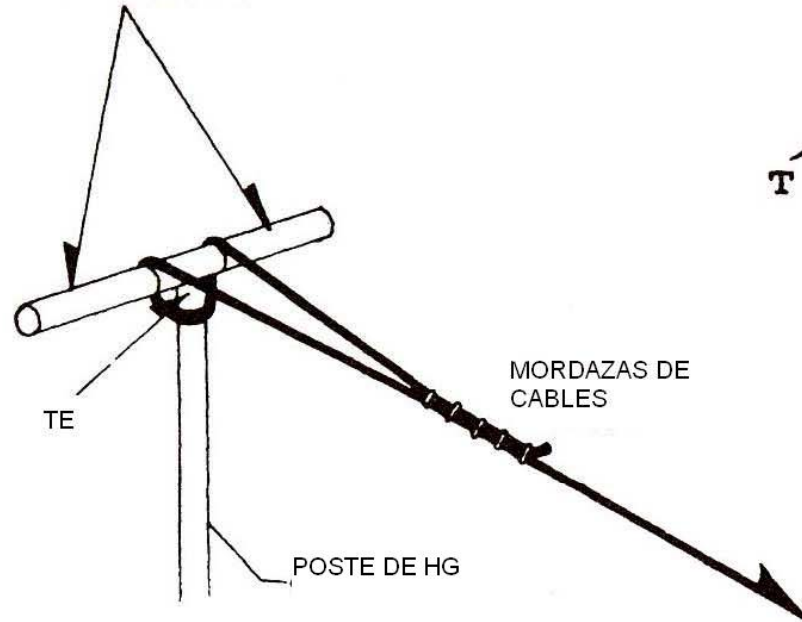
Nota
no mas de
12 mts.
si el tamaño
es mas.
debe de
utilizar Cable.
depende la
profundidad de
Borrando.



APÉNDICE 6: DIVERSOS TIPOS DE ANCLAJES DE PUENTES.



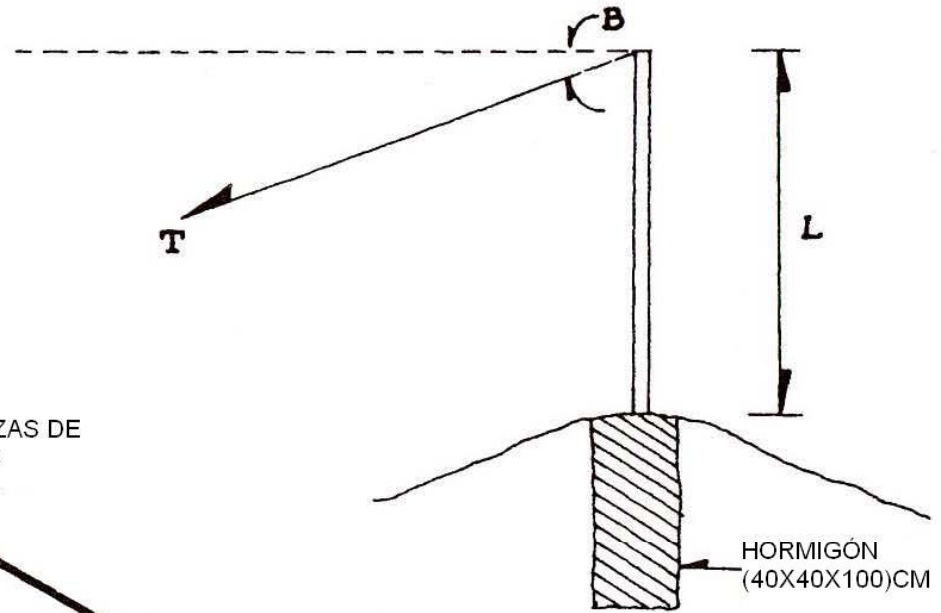
BARRAS CORTAS DE METAL



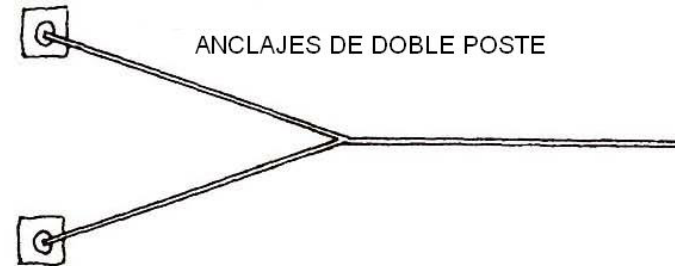
MORDAZAS DE CABLES

POSTE DE HG

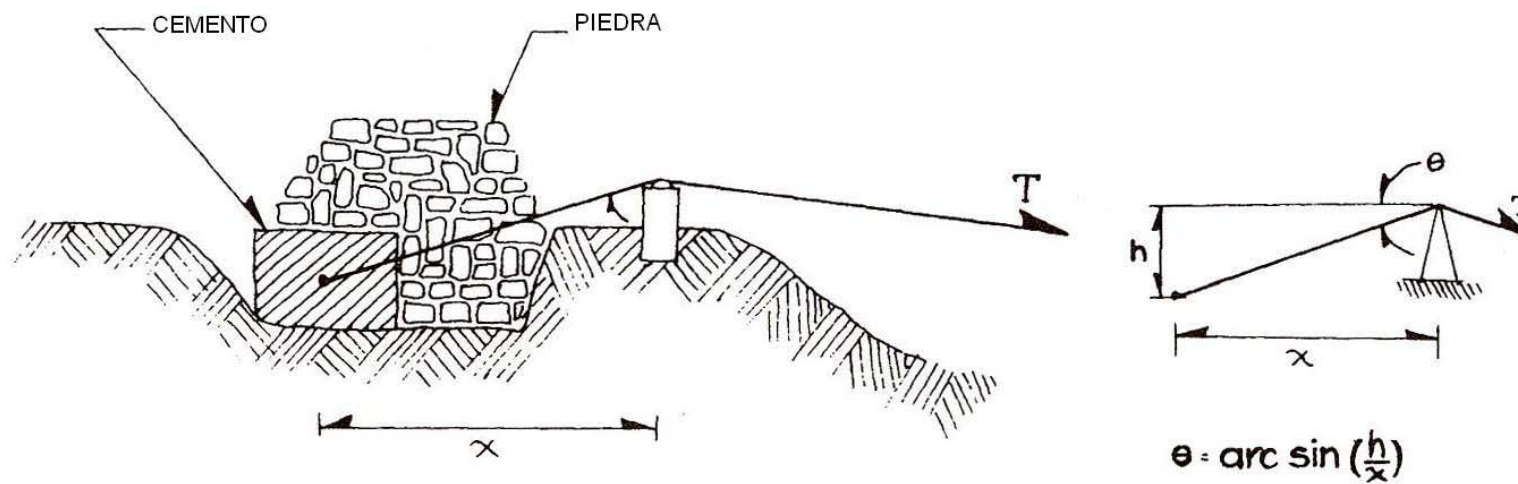
TE



HORMIGÓN
(40X40X100)CM



ANCLAJES DE DOBLE POSTE



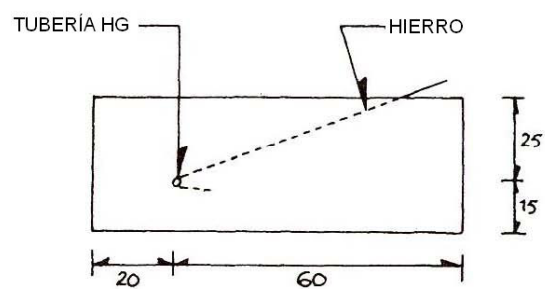
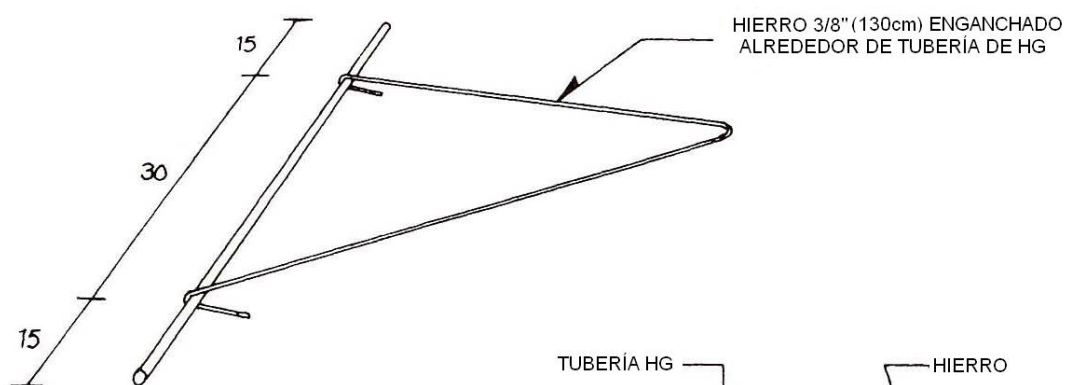
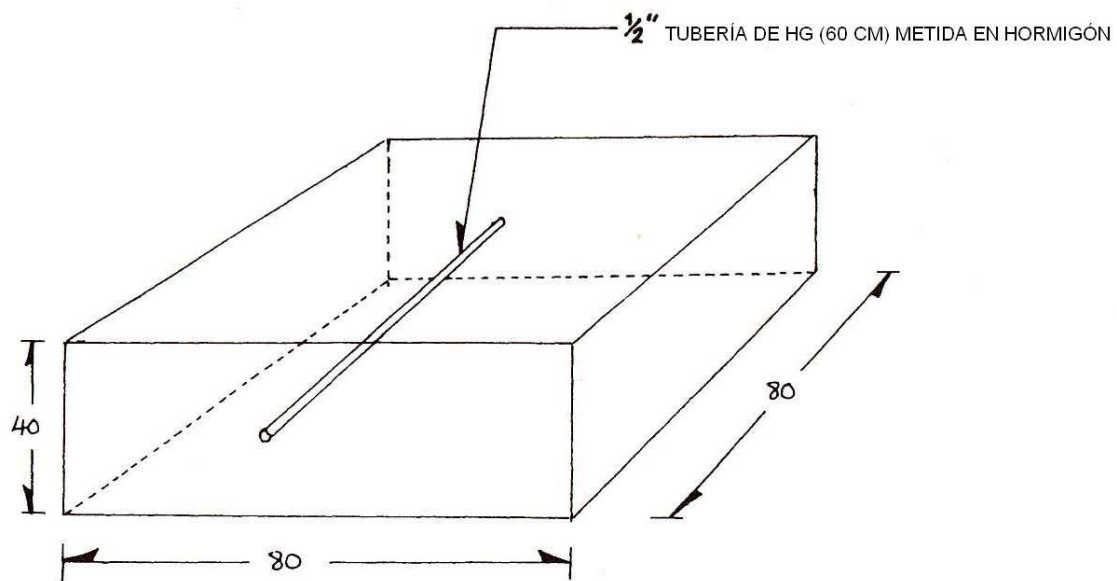
PESO REQUERIDO DE CEMENTO Y PIEDRA

$$W = \frac{T \cos \theta}{\mu} + T \sin \theta$$

VOLUMEN REQUERIDO DE CEMENTO Y PIEDRA (M^3)

$$V = \frac{W}{\delta}$$

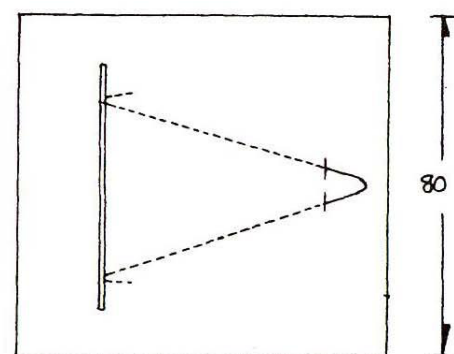
$$\delta \left\{ \begin{array}{l} \text{LADRILLO} = 2120 \text{ KG}/M^3 \\ \text{PIEDRA} = 2450 \text{ KG}/M^3 \\ \text{PIEDRA SECA} = 2000 \text{ KG}/M^3 \end{array} \right.$$



MATERIALES REQUERIDOS

- 60cm TUBERÍA HG DE 1/2"
- 130cm HIERRO 3/8"
- 0,03 m³ CEMENTO

PESO APROXIMADO DE 630 kg



APÉNDICE 7: TABLAS DE ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

PUNTO	SEGMENTO	PROYECCIÓN (m)	PROYECCIÓN (cm)	DISTANCIA	ORIENTACIÓN	ÁNGULO	DELTA	ESTE (m)	NORTE (m)	CASAS SUMINISTRADAS	CASAS A SUMINISTRAR	MARCA O HITO
										47		
Fuente a tanque												
A-0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0			nacimiento - der. montana
A-1	11,7	11,7	1,2	11,7	0	-1	-0,20	11,70	0,00		47	seguir cauce del rio
A-2	16,5	16,4	1,64	28,2	332	-6,5	-1,87	26,17	-7,70		47	der. sauce+rio - arbol melocoones 270'
A-3	33,9	33,8	3,38	62,1	6	-5	-2,95	59,76	-4,17		47	izq. Rio . Valla enfrente
A-4	50	49,8	4,98	112,1	6	-5,5	-4,79	109,26	1,04		47	izq. Rio . Cruzar valla, parar en campo maíz
A-5	50	49,7	4,97	162,1	6	-6	-5,23	158,71	6,23		47	campo frijoles negros
A-6	11,8	11,8	1,2	173,9	0	-3	-0,62	170,49	6,23		47	izq. rio - lugar para construir un tanque -
3ª ramal										Total casas		
G3-0 =A-6	11,8	11,8	1,2	173,9	0	-3	-0,62	170,49	6,23	13		RAMAL G-3
G3-1	50	48,9	4,9	223,9	316	-12	-10,40	205,67	-27,74	2	13	Casa: 56grados, 40m.Arbol de campanas.
G3-2	47,4	46,0	4,6	271,3	328	-14	-11,47	244,68	-52,11		11	Pto antes de cruzar camino al nacimiento.
G3-3	39,3	38,4	3,8	310,6	313	-12	-8,17	270,90	-80,23		11	Cruzamos campo de frijol. Melocotonero
G3-4	30	29,5	3,0	340,6	322	-10	-5,21	294,18	-98,42		11	Pto en la falda de la montaña.
G3-5	23,8	23,6	2,4	364,4	317	-7	-2,90	311,45	-114,53		11	Seguimos por la falda de la montaña.
G3-6	23,9	23,9	2,4	388,3	316	3	1,25	328,62	-131,11	1	11	Dejamos el campo de frijol a la izquierda.
G3-7	19,3	19,1	1,9	407,6	319	-8,5	-2,85	343,03	-143,63	4	10	Casas futuras: (265,30);(30,60m);(30,30m)
G3-8	50	50,0	5,0	457,6	342	-1	-0,87	390,57	-159,08		6	Pto al lado del tanque de distribucion a 30°.
G3-9	16	16,0	1,6	473,6	350	4	1,12	406,29	-161,85		6	Nos adentramos en un pequeño bosque.
G3-10	14	14,0	1,4	487,6	355	-3,5	-0,85	420,21	-163,07		6	Seguimos por el bosquecito.
G3-11	18,6	18,4	1,8	506,2	348	-8	-2,59	438,23	-166,90		6	Bajamos por el bosquecito.
G3-12	19,5	18,7	1,9	525,7	347	-16	-5,37	456,49	-171,11	4	6	Casas futuras: (45,60m);(5,60m);(14,60m).
G3-13	24,6	24,2	2,4	550,3	338	-10	-4,27	478,96	-180,19	1	2	Casa futura: (40,20m)
G3-14	48	47,9	4,8	598,3	338	-3	-2,51	523,40	-198,14	1	1	Casa futura: (313,60m)
1ª ramal										Total casas		RAMAL G-1
G1-0 = A-6	11,8		1,2	173,9	0	-3	-0,62	170,49	6,23	25		izq.Rio - lugar optimo para construir tanque
G1-1	16,1	15,2	1,5	190	350	-19	-5,24	185,49	3,59		25	Nos acercamos al rio que esta a la derecha.

G1-2	50	46,4	4,6	240	355	-22	-18,73	231,67	-0,45		25	En el río a la izquierda.
G1-3	44	40,8	4,1	284	354	-22	-16,48	272,24	-4,71		25	En el río a la izquierda.
G1-4	44	43,3	4,3	328	354	-10	-7,64	315,34	-9,24		25	En el río a la izquierda.
G1-5	36,7	36,0	3,6	364,7	348	-11	-7,00	350,57	-16,73		25	En el río a la izquierda.
G1-6	30	29,4	2,9	394,7	353	-11,5	-5,98	379,75	-20,32	1	25	Casa futura: (225,30m)
G1-7	39,3	38,9	3,9	434	352	-8	-5,47	418,29	-25,73	2	24	Casa futura: (60,40m);(255,5m)
G1-8	35	34,9	3,5	469	349	-4,5	-2,75	452,54	-32,39	1	22	Casa futura: (270,30m) Riachuelo a izda.
G1-9	12,4	12,4	1,2	481,4	349	-3,5	-0,76	464,69	-34,75	1	21	Casa futura: (120,20m).Carretera.
G1-10	10	10,0	1,0	491,4	349	-2,5	-0,44	474,50	-36,66		20	Cruzamos la carretera. 2 tubos de HG
1ª pequeña ramal										Total casas		
G1-A = G1-10	10	10,0	1,0	491,4	349	-2,5	-0,44	474,50	-36,66	6		
G1-A1	12,6	12,5	1,2	504	51	-8	-1,75	482,35	-26,96	3	6	Casa futura: (309,10);(104,10m);(104,20m)
G1-A2	44,3	44,0	4,4	548,3	43,1	-6,5	-5,01	514,49	3,11		3	Pto en tronco de valla. Casa Futura (92,6m)
G1-A3	22,1	22,1	2,2	570,4	101	0,5	0,19	510,27	24,81		3	
G1-A4	43,6	43,6	4,4	614	39	0,5	0,38	544,15	52,24	1	3	Casa futura: (92,6m)
G1-A5	30	29,3	2,9	644	7	12	6,24	573,28	55,82		2	Subimos una colina.
G1-A6	9,6	9,6	1,0	653,6	13,8	0	0,00	582,60	58,11	1	2	Giro de 90 grados. Casa futura (14,6m)
G1-A7	25,9	25,9	2,6	679,5	293	1,5	0,68	592,72	34,28		1	camino de palmeras bajas
G1-A8	20,1	20,0	2,0	699,6	310	-5	-1,75	605,59	18,94	1	1	Tope (punto final). Casa futura: (310,6m)
2ª pequeña ramal										Total casas		
G1-B = G1-10	10	10,0	1,0	491,4	491,4	-2,5	-0,44	474,50	-36,66	14		
G1-B1	21,8	21,7	2,2	513,2	303	-5	-1,90	486,33	-54,87	1	14	Casa futura: (6,10m)
G1-B2	24,8	24,7	2,5	538	288	-5	-2,16	493,96	-78,37	1	13	Carretera a la izda. Casa futura: (6,10m)
G1-B3	26	25,9	2,6	564	288	-5	-2,27	501,96	-103,00	1	12	Casa futura: (6,10m)
G1-B4	20,8	20,7	2,1	584,8	292	-5	-1,81	509,73	-122,21	1	11	Casa existente: (42,6m)
G1-B5	22,3	22,2	2,2	607,1	293	-5	-1,94	518,41	-142,66	1	10	Casa existente: (32,10m).Seguimos carretera.
G1-B6	25,9	25,8	2,6	633	284	-5	-2,26	524,65	-167,70		9	Pto justo en la carretera.
G1-M1/G1-B6	35,9	35,8	3,6	668,9	325,7	-5	-3,13	554,19	-187,85		2	Seguimos hasta el punto M1
G1-M2	43,5	43,3	4,3	712,4	61	-5	-3,79	575,20	-149,95	2	2	Casa futuras: (336,60m);(33,70m)
ramal b										Total casas		
b0 = G1-B6	25,9	25,8	2,6	633	284	-5	-2,26	524,65	-167,70	7		
b1	39,4	39,3	3,9	672,4	290	-3	-2,06	538,11	-204,67		7	Seguimos la carretera que queda a la izda.
b2	50	50,0	5,0	722,4	296	-2	-1,74	560,01	-249,58	1	7	Por la carretera.
b3	30,1	30,1	3,0	752,5	283	-2,5	-1,31	566,78	-278,88		6	Por la carretera.
b4	22,4	22,3	2,2	774,9	305	-6	-2,34	579,55	-297,13		6	Por la carretera.

b5	15,3	15,2	1,5	790,2	280	-5	-1,33	582,20	-312,14		6	Por la carretera.
b6	21,6	21,5	2,1	811,8	280	-6	-2,26	585,93	-333,30		6	Por la carretera.
b7	38,1	37,4	3,7	849,9	276	-11	-7,27	589,84	-370,49		6	Por la carretera.
b8	44,2	44,0	4,4	894,1	276	-5	-3,85	594,44	-414,28	1	6	Por carretera. A izda casa futura: (313,27,40m)
b9	40,8	40,7	4,1	934,9	313	-4	-2,85	622,20	-444,05		5	Hay un tragante que cruzamos (1 tubo HG)
b10	28,2	28,0	2,8	963,1	312	-6	-2,95	640,97	-464,89	1	5	Por la carretera. Casa futura: (53,10m)
b11	18	17,9	1,8	981,1	327	-5	-1,57	656,00	-474,66	1	4	Casa futura: (47,5m)
b12	18	18,0	1,8	999,1	314	-2	-0,63	668,50	-487,60	1	3	Casa futura: (30,10m)
b13	15,9	15,9	1,6	1015	313	-1	-0,28	679,34	-499,23	1	2	Casa futura: (44,10m)
b14	20,5	20,5	2,0	1035,5	322	-4	-1,43	695,46	-511,82	1	1	Casa futura: (40,10m). Tope
2ª ramal										Total casas		
G2-0=A6	11,8	11,8	A-6	173,9	0	-3	-0,62	170,49	6,23	9		
G2-1	15,6	15,1	1,5	189,5	20	-14	-3,77	184,72	11,41		9	Caminamos al lado de la montaña derecha.
G2-2	19,1	18,9	1,9	208,6	48	-8	-2,66	197,37	25,47		9	
G2-3	11,7	11,6	1,2	220,3	63	6	1,22	202,66	35,83		9	Giramos a la derecha seguimos la montaña
G2-4	20,4	20,4	2,0	240,7	97	-1	-0,36	200,17	56,08		9	Estamos en el medio de un bosqucico.
G2-5	20,3	20,3	2,0	261	88	-3,5	-1,24	200,88	76,33		9	
G2-6	15,7	15,5	1,6	276,7	55	-9	-2,46	209,77	89,03	1	9	Cruzamos una valla.Casa futura: (120,6m).
G2-7	12,8	12,8	1,3	289,5	44	-3	-0,67	218,97	97,91	1	8	Cruzamos otra valla. Casa futura: (120,6m)
G2-8	50	48,7	4,9	339,5	15	-13	-11,25	266,03	110,52		7	Cruzamos un campo de milpa quemada
G2-9	30,2	30,2	3,0	369,7	19	1,5	0,79	294,57	120,35		7	Cruzamos un campo de bosque quemado
G2-10	32,3	32,1	3,2	402	30	-6	-3,38	322,39	136,41		7	Pto al final del bosque quemado.
G2-11	32,5	30,5	3,1	434,5	3	-20	-11,12	352,89	138,01		7	
G2-12	38,4	34,2	3,4	472,9	5	-27	-17,43	386,97	140,99		7	Pto al principio de la carretera.
G2-13	11,5	11,3	1,1	484,4	5	-11	-2,19	398,22	141,97		7	Pto al otro lado de carretera (2tubos de HG)
G2-14	11,9	11,7	1,2	496,3	20	-10	-2,07	409,23	145,98	1	7	Casa futura: (310,40m)
G2-15	14,7	14,7	1,5	511	88	1	0,26	409,74	160,67	1	6	Carretera a la dcha.Casa futura:(31,40m)
G2-16	17	17,0	1,7	528	90	3	0,89	409,74	177,65	3	5	Dcha carretera.2 casas futuras:(16,12m).
G2-17	14,9	14,9	1,5	542,9	87	1	0,26	410,52	192,53	2	2	Carretera a dcha.Tope.Casa futura: (19,5m).

APÉNDICE 8: TABLAS DE ESTUDIO HIDRÁULICO.

DIAMETRO (mm)	CAUDAL (l/s)	CARGA RESIDUAL (mca)	CARGA HIDROSTÁTICA (mca)	VELOCIDAD (m/s)	COTA RELATIVA(m)	LINEA PIEZOMÉTRICA (m)
			0		1000	1000
44	2	-0,29	0,20	1,32	999,80	999,51
44	2	0,88	2,07	1,32	997,93	998,81
44	2	2,41	5,03	1,32	994,97	997,38
44	2	5,09	9,82	1,32	990,18	995,27
44	2	8,21	15,05	1,32	984,95	993,17
44	2	8,33	15,66	1,32	984,34	992,67
		8,33	0,00		984,34	992,67
39	1,3	17,02	10,40	1,09	973,94	990,96
39	1,1	27,29	21,86	0,92	962,48	989,77
30	1,1	31,92	30,03	1,56	954,31	986,23
30	1,1	34,43	35,24	1,56	949,10	983,53
30	1,1	35,19	38,14	1,56	946,20	981,38
30	1,1	31,78	36,89	1,56	947,45	979,23
30	1	33,18	39,75	1,41	944,59	977,77
30	0,6	32,58	40,62	0,85	943,72	976,31
30	0,6	31,00	39,50	0,85	944,84	975,84
30	0,6	31,44	40,36	0,85	943,98	975,42
30	0,6	33,48	42,95	0,85	941,39	974,88
30	0,6	38,29	48,32	0,85	936,02	974,31
30	0,2	42,46	52,59	0,28	931,75	974,21
30	0,1	44,92	55,10	0,14	929,24	974,16
		15,66	0,00		984,34	1000
39	2,5	19,06	5,24	2,09	979,10	998,15

39	2,5	32,05	23,97	2,09	960,37	992,42
39	2,5	43,49	40,45	2,09	943,89	987,38
39	2,5	46,09	48,10	2,09	936,24	982,33
39	2,5	48,88	55,10	2,09	929,24	978,13
39	2,5	51,42	61,08	2,09	923,26	974,69
39	2,4	52,72	66,55	2,01	917,79	970,51
39	2,2	52,30	69,29	1,84	915,05	967,34
39	2,1	52,02	70,05	1,76	914,29	966,31
39	2	51,70	70,49	1,67	913,85	965,55
		51,70	70,49		913,85	965,55
19	0,6	50,03	72,24	2,12	912,10	962,13
19	0,3	51,71	77,26	1,06	907,08	958,80
19	0,3	49,86	77,06	1,06	907,28	957,13
19	0,3	46,19	76,68	1,06	907,66	953,85
19	0,2	38,89	70,45	0,71	913,89	952,78
19	0,2	38,55	70,45	0,71	913,89	952,44
19	0,1	37,61	69,77	0,35	914,57	952,18
19	0,1	39,17	71,52	0,35	912,82	951,99
		51,70	70,49		913,85	965,55
30	1,4	50,53	72,39	1,98	911,95	962,48
30	1,3	49,65	74,55	1,84	909,79	959,44
30	1,2	49,16	76,82	1,70	907,52	956,69
30	1,1	49,10	78,63	1,56	905,71	954,82
30	1	49,36	80,57	1,41	903,77	953,13
30	0,9	50,01	82,83	1,27	901,51	951,52
30	0,2	53,00	85,96	0,28	898,38	951,38
30	0,2	56,63	89,75	0,28	894,59	951,22
		50,01	82,83		901,51	951,52
23	0,7	46,46	84,89	1,68	899,45	945,91

23	0,7	41,09	86,64	1,68	897,70	938,79
23	0,6	39,18	87,95	1,44	896,39	935,57
23	0,6	39,12	90,29	1,44	894,05	933,17
23	0,6	38,82	91,62	1,44	892,72	931,53
23	0,6	38,76	93,88	1,44	890,46	929,22
23	0,6	41,95	101,15	1,44	883,19	925,14
23	0,6	41,07	105,00	1,44	879,34	920,41
23	0,5	40,80	107,85	1,20	876,49	917,29
23	0,5	41,60	110,80	1,20	873,54	915,14
23	0,4	42,25	112,37	0,96	871,97	914,23
23	0,3	42,35	112,99	0,72	871,35	913,69
23	0,2	42,40	113,27	0,48	871,07	913,47
23	0,1	43,75	114,70	0,24	869,64	913,39
		0,00	0,00		1000,00	1000
56	0,9	3,73	3,77	0,37	996,23	999,95
56	0,9	6,33	6,43	0,37	993,57	999,90
56	0,9	5,07	5,21	0,37	994,79	999,86
56	0,9	5,37	5,57	0,37	994,43	999,80
56	0,9	6,55	6,80	0,37	993,20	999,74
56	0,9	8,95	9,26	0,37	990,74	999,69
56	0,8	9,59	9,93	0,32	990,07	999,66
23	0,7	13,72	21,18	1,68	978,82	992,54
23	0,7	8,63	20,39	1,68	979,61	988,24
23	0,7	7,41	23,76	1,68	976,24	983,64
23	0,7	13,90	34,88	1,68	965,12	979,02
23	0,7	25,86	52,31	1,68	947,69	973,55
23	0,7	26,42	54,51	1,68	945,49	971,91
23	0,7	26,79	56,57	1,68	943,43	970,22
23	0,6	24,96	56,32	1,44	943,68	968,64
23	0,5	22,77	55,43	1,20	944,57	967,35
23	0,2	22,30	55,17	0,48	944,83	967,14

APÉNDICE 9: LISTA COMPLETA DE MATERIALES PARA EL SISTEMA DE Q'ALCHÉ.

	1 CAJA DE CAPT. (2m3)	1 T.D. (5m3) 2 entradas 1" y 3 salidas	1 CAJA ROMPE- PRESIÓN (1m3)	LINEA DESDE NACIMIENTO A T.D.	GRIFOS (42) caja de válvula	PISOS (42) DRENAJE (aguas negras)	LETRINAS (42)	LINEA G1	LINEA G2	LINEA G3	Material Extra	CANTIDAD TOTAL	MATERIAL BODEGA	PARA PEDIR	PRECIO (Q)	PRECIO TOTAL (Q)	TOTAL con bodega
MATERIALES																	
HORMIGÓN																	
ARENA DE RIO (POR M³)	1,5	2	1	2	0,7	4						11		11	150,00	1.605,00	1.605,00
PIEDRIN (POR M³)	2	3	1	1	1,4	7						15		15	100,00	1.540,00	1.540,00
PIEDRAS PARA EL POZO (POR M³)												0		0	0,00	0,00	0,00
EMPEDRADO (M³)	4	3										7		7	0,00	0,00	0,00
CEMENTO	15	35	8	15	0,0	63						136		136	40,00	5.440,00	5.440,00
REGLAS 3 VARAS 2 1/2" (docena)												0		0	0,00	0,00	0,00
REGLAS 3 VARAS 2 4" (docena)	1,5	4	0,5			1	11					17		17	156,00	2.652,00	2.652,00
TABLAS DE 2 1/2 VARAS (docena)	1,5	4	1			7	11					24		24	150,00	3.600,00	3.600,00
POSTES de 3 VARAS (POR 12)						7						7		7	100,00	700,00	700,00
FLETE POR LOS POSTES						1						1		1	600,00	600,00	600,00
ROLLO DE ALAMBRE ESPIGADO						4						4		4	130,00	520,00	520,00
PENTA (Galón)						6						6		6	90,00	540,00	540,00
DIESEL (Galón)						6						6		6	20,00	120,00	120,00
FLETE DE XELA HASTA QALCHE											1	1		1	2500,00	2.500,00	2.500,00
															SUB-TOTAL	19817,00	19817,00
VARIOS																	
ALAMBRE DE AMARRE (POR LIBRA)	4	4	2									10		10	3,60	36,00	36,00
ARMADURA 3/8" (POR VARILLAS)	60	60	30									150		150	15,00	2.250,00	2.250,00
ARMADURA 1/2" (POR VARILLA)		1										1		1	26,00	26,00	26,00
ARMADURA 1/4" (POR VARILLA)					14,0							14		14	26,25	367,50	367,50
CLAVOS 2" (POR LIBRA)	2	5	2									9	10	0	4,00	36,00	0,00
CLAVOS 3" (POR LIBRA)						21	8					29	15	14	4,00	117,60	57,60
CLAVOS 4" (POR LIBRA)	2	5	2				21					30		30	4,00	120,00	120,00
LAÑAS (LBS)						11						11		11	4,75	49,88	49,88
CANDADO 2" DE BRONZE	2	2	1									5		5	29,50	147,50	147,50
PAR DE VISAGRA 3 x 3							42					42		42	7,50	315,00	315,00
GANCHO DORADO							42					42		42	2,00	84,00	84,00
ALADABAS DE 4"							42					42		42	4,00	168,00	168,00
SIERRA DENTADA			1		2							3		3	8,40	26,04	26,04
ROLLO DE TEFLON	2	2,5	1,5	20	42			3	1		1	73	8	65	1,05	76,65	68,25
LÁMINA PARA TECHO DE LETRINA							11					11		11	33,00	346,50	346,50
PISO Y TAZAS DE LETRINAS							42					42		42	200,00	8.400,00	8.400,00
ÁRBOLES						168						168		168	1,00	168,00	168,00
												0			SUB-TOTAL	12734,67	12630,27
HG												0					
CODO HG 90° 1/2"					84							84	35	49	1,40	117,60	68,60
CODO HG 90° 3/4"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO HG 90° 1"		4	2	4								10		10	9,05	90,50	90,50

CODO HG 90° 1 1/4"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO HG 90° 1 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO HG 90° 2"												0		0		0,00	0,00
CODO HG 90° 2 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO HG 45° 1"				6				2				8		8	5,30	42,40	42,40
CODO HG 45° 1 1/2"								2				2		2	10,90	21,80	21,80
COPLA HG 1/2"					84							84	80	4	1,20	100,80	4,80
COPLA HG 3/4"								2	1			3		3	2,40	7,20	7,20
COPLA HG 1"	2	2	1					2				7	85	0	4,05	28,35	0,00
COPLA HG 1 1/4"								2				2	3	0	4,60	9,20	0,00
COPLA HG 1 1/2"								2				2	8	0	5,95	11,90	0,00
COPLA HG 2"												0		0		0,00	0,00
COPLA HG 2 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
UNION UNIVERSAL HG 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
UNION UNIVERSAL HG 1 1/4"												0		0	0,00	0,00	0,00
LLAVE DE CHORRO 1/2" NIBCO O PP				42								42		42	31,20	1310,40	1,310,40
LLAVE DE PASO 1/2" (ITALIANO)												0		0	26,15	0,00	0,00
LLAVE COMPUERTA 1/2" NIBCO O PP				84								84	5	79	28,40	2385,60	2,243,60
LLAVE COMPUERTA 3/4" NIBCO O PP												0		0	0,00	0,00	0,00
LLAVE COMPUERTA 1" NIBCO O PP		2	1									3	15	0	44,80	134,40	0,00
LLAVE COMPUERTA 1 1/4" NIBCO O PP												0		0	0,00	0,00	0,00
LLAVE COMPUERTA 1 1/2" NIBCO O PP			3									3		3	86,50	259,50	259,50
LLAVE COMPUERTA 2" NIBCO O PP		4										4	2	2	116,25	465,00	232,50
LLAVE COMPUERTA 2 1/2" NIBCO O PP												0		0	0,00	0,00	0,00
LLAVE COMPUERTA 3" NIBCO O PP												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 5 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 10 CM				42								42		42	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 15CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 20 CM				42								42		42	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 40 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 50 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 60 CM				42								42		42	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 80 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 100 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2 120 CM				42								42		42	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2 140 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1/2" 150 CM			2									2		2	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 3/4" 15 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 3/4" 50 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 3/4" 70 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 15 CM			1									1		1	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 20 CM		2										2		2	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 50 CM			1									1		1	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 60 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 70 CM			1									1		1	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 80 CM		2										2		2	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 90 CM												0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1" 150 CM		2										2		2	0,00	0,00	0,00

NIPLE HG 1" 170 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 10CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 15CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 20CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 50CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 60CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 70CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 80CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/4" X 150cm													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/2" 15CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/2" 20 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/2" 40 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/2" 50 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 1 1/2" 70CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2 1/2" 20 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2 1/2" X 50cm													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2 1/2" X 70cm													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 10 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 15 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 20 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 50 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 70 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 80 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 100 CM													0		0	0,00	0,00	0,00
NIPLE HG 2" 150CM													0		0	0,00	0,00	0,00
REDUCTOR HG 1" X 3/4"													0		0	0,00	0,00	0,00
REDUCTOR HG 1 1/2" X 1"								1					1		1	4,40	4,40	4,40
REDUCTOR HG 1 1/2" X 1 1/4"								1					1		1	5,15	5,15	5,15
TUBO HG 1/2"					14,7								15		15	60,00	882,00	882,00
TUBO HG 3/4"								1	2				3		3	90,00	270,00	270,00
TUBO HG 1"		0,7	0,2	29				2					32	80	0	125,00	3994,79	0,00
TUBO HG 1 1/4"								1					1	1	0	194,78	194,78	0,00
TUBO HG 1 1/2"								5					5	1	4	205,00	1025,00	820,00
TUBO HG 2"													0		0	0,00	0,00	0,00
TUBO HG 2 1/2"													0		0	0,00	0,00	0,00
TEE HG 1 1/2"								1					1		1	10,85	10,85	10,85
VALVULA DE FLOTE 1/2" NIBCO O PP													0		0	0,00	0,00	0,00
VALVULA DE FLOTE 3/4" NIBCO O PP													0		0	0,00	0,00	0,00
VALVULA DE FLOTE 1" NIBCO O PP		2	1										3		3	214,30	642,90	642,90
VALVULA DE FLOTE 1 1/4" NIBCO O PP													0		0	0,00	0,00	0,00
VALVULA DE FLOTE 1 1/2" NIBCO O PP													0		0	0,00	0,00	0,00
VALVULA DE FLOTE 2 1/2" NIBCO O PP													0		0	0,00	0,00	0,00
VALVULA DE PILA 2"													0		0	0,00	0,00	0,00
PICHACHA 2" BRONCE													0		0	0,00	0,00	0,00
PICHACHA 3" BRONCE													0		0	0,00	0,00	0,00
																SUB-TOTAL	12014,52	6916,60
PVC																		
ADAPTADORA MACHO 1/2"					126								126	4	122	0,75	94,50	91,50

ADAPTADORA MACHO 3/4"							2	2				4	8	0	1,25	5,00	0,00
ADAPTADOR MACHO 1"	2	2	1	4			2					11	16	0	2,40	26,40	0,00
ADAPTADOR MACHO 1 1/4"							2					2	1	1	3,30	6,60	3,30
ADAPTADORA MACHO 1 1/2 "			6				2					8	7	1	3,25	26,00	3,25
ADAPTADORA MACHO 2"		8										8		8	4,60	36,80	36,80
ADAPTADORA MACHO 2 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
ADAPTADORA MACHO 3"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO 90° 1/2"		3	2				2			10		17		17	0,85	14,45	14,45
CODO 90° 3/4"							1	1		3		5	5	0	1,35	6,75	0,00
CODO 90° 1"	2						1			1		4	50	0	3,60	14,40	0,00
CODO 90° 1 1/4"										1		1	15	0	4,20	4,20	0,00
CODO 90° 1 1/2"			6							1		7	7	0	4,70	32,90	0,00
CODO 90° 2"	3	8										11	13	0	6,85	75,35	0,00
CODO 90° 2 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO 90° 3"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO 45° 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO 45° 3/4"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO 45° 1"										1		1	16	0	4,35	4,35	0,00
CODO 45° 1 1/4"										1		1	17	0	5,60	5,60	0,00
CODO 45° 1 1/2"									1	1		2	31	0	7,25	14,50	0,00
CODO 45° 2"												0		0		0,00	0,00
CODO 45° 2 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
CODO 45° 3"												0		0	0,00	0,00	0,00
COPLAS 2"												0		0		0,00	0,00
COPLAS 1 1/4"												0		0	0,00	0,00	0,00
COPLAS 1"				4								4	2	2	1,95	7,80	3,90
COPLAS 3/4"												0		0	0,00	0,00	0,00
COPLAS 1/2"												0		0	0,00	0,00	0,00
TAPON DE LIMPIEZA 2" CON ROSCA												0		0	0,00	0,00	0,00
ADAPT. DE LIMPIEZA 2"												0		0	0,00	0,00	0,00
CURVA PARA DRENAJE 90° 3"						49						49	30	19	9,00	441,00	171,00
CURVA PARA DRENAJE 90° 2"												0		0	0,00	0,00	0,00
REDUCTOR 3/4" X 1/2"							4	3		5	1	13	8	5	1,20	15,60	6,00
REDUCTOR 1" X 3/4"							2		1	1		4		4	1,75	7,00	7,00
REDUCTOR 1" X 1/2"							8			5	1	14	8	6	1,90	26,60	11,40
REDUCTOR 1 1/4" X 1/2"							4	1			1	6	28	0	3,00	18,00	0,00
REDUCTOR 1 1/4" X 3/4"									1			1		1	3,00	3,00	3,00
REDUCTOR 1 1/4" X 1"			1				1					2	1	1	3,00	6,00	3,00
REDUCTOR 1 1/2" X 1/2"			1				6	1	2	1		11	14	0	3,20	35,20	0,00
REDUCTOR 1 1/2" X 3/4"												0		0	0,00	0,00	0,00
REDUCTOR 1 1/2" X 1"							1			1		2	8	0	3,20	6,40	0,00
REDUCTOR 1 1/2" X 1 1/4"							1	1				2	3	0	3,20	6,40	0,00
REDUCTOR 2" X 1/2"		3										3	2	1	5,35	16,05	5,35
REDUCTOR 2" X 3/4"												0		0	5,10	0,00	0,00
REDUCTOR 2" X 1"	2											2	3	0	5,10	10,20	0,00
REDUCTOR 2" X 1 1/4"		1										1		1	5,50	5,50	5,50
REDUCTOR 2" X 1 1/2"		2										2		2	5,10	10,20	10,20
REDUCTOR 2 1/2" X 1"												0		0	0,00	0,00	0,00

REDUCTOR 2 1/2" X 1 1/2"													0		0	0,00	0,00	0,00
REDUCTOR 2 1/2" X 1/2"													0		0	0,00	0,00	0,00
TAPON PVC 2" HEMBRA													0		0	0,00	0,00	0,00
TEE 1/2"		1						7	4	6	2		20		20	1,10	22,00	22,00
TEE 3/4"								2	2	4	2		10	3	7	1,75	17,50	12,25
TEE 1"								7		5	2		14	5	9	3,20	44,80	28,80
TEE 1 1/4"								4	1		1		6	12	0	5,50	33,00	0,00
TEE 1 1/2"			2					6	1	2	1		12	2	10	5,95	71,40	59,50
TEE 2"		4											4	4	0	8,00	32,00	0,00
TEE 2 1/2"													0		0	0,00	0,00	0,00
TEE SANITARIO 2"													0		0	0,00	0,00	0,00
TUBO 1/2" 315PSI		1	0,5					185	35	110	17		348	35	313	14,75	5133,00	4.616,75
TUBO 3/4" 315PSI								24	36	20	4		84	32	52	17,40	1461,60	904,80
TUBO 1" 160 PSI					34			68		31	5		138	36	102	22,15	3055,59	2.258,19
TUBO 1" 250PSI	1												1		1	32,40	32,40	32,40
TUBO 1 1/4" 160 PSI								34	3		2		39	3	36	34,70	1348,10	1.244,00
TUBO 1 1/4" 250 PSI													0		0		0,00	0,00
TUBO 1 1/2" 160 PSI								35	19	9	3		66		66	45,35	2999,90	2.999,90
TUBO 1 1/2" 250 PSI			1,5										2		2	68,00	102,00	102,00
TUBO 2" 160 PSI													0		0	61,80	0,00	0,00
TUBO 2" 250 PSI	1	4											5		5	97,45	487,25	487,25
TUBO 2 1/2" 160 PSI													0		0	0,00	0,00	0,00
TUBO 2 1/2" 250 PSI													0		0	0,00	0,00	0,00
TUBO 3" 160 PSI													0		0	0,00	0,00	0,00
TUBO 3" 250 PSI													0		0	0,00	0,00	0,00
TUBO BAJA PLUVIAL- DRENAJE 3"					21								21	10	11	69,95	1468,95	769,45
TUBO BAJA PLUVIAL- DRENAJE 2"					21								21	26	0	39,90	837,90	0,00
SCREEN/CEDASO	1												1		1	7,50	7,50	7,50
PEGAMENTO 1/4 GAL.	0,5	1	1	1	2			3	2	3			13	15	0	117,20	1544,70	0,00
																SUB-TOTAL	19682,336	13920,44
																TOTAL	64248,52	53284,30

